

Київський університет імені Бориса Грінченка

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ  
АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ  
МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
В ОСВІТІ Й НАУЦІ**

**Монографія**

Київ — 2021

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Київського університету імені Бориса Грінченка  
(протокол № 2 від 25.02.2021 р.)

**Рецензенти:**

*Батечко Н.Г.*, завідувач кафедри вищої та прикладної математики Національного університету біоресурсів і природокористування, кандидат фізико-математичних наук, доктор педагогічних наук, доцент;

*Зінченко Н.М.*, професор кафедри інформаційних технологій та аналізу даних Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;

*Юрчишин В.М.*, професор кафедри інженерії програмного забезпечення Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, доктор технічних наук, професор.

**Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці:**  
Т33 моногр. / за заг. ред. О. Литвин. — К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2021. — 332 с.

ISBN 978-617-658-104-8

У монографії висвітлено результати опрацювання наукової теми «Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці» (реєстраційний номер 0116U004625) кафедрою комп'ютерних наук і математики Факультету інформаційних технологій та управління Київського університету імені Бориса Грінченка (термін виконання: березень 2016 р. — березень 2021 р.).

Представлено основні наукові та практичні результати з таких напрямів: математичне та комп'ютерне моделювання, апаратно-програмні засоби автоматизованих систем керування, застосування цифрових технологій в освітньому процесі.

Для науково-педагогічних, наукових і педагогічних працівників, які цікавляться сучасними проблемами застосування математичних методів і цифрових технологій в освіті й науці.

УДК 51-7+004]:37

# ЗМІСТ

<i>Передмова</i> .....	5
------------------------	---

## **РОЗДІЛ 1. ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ**

1.1. Практика впровадження STEAM-освіти на базі використання інноваційного класу .....	7
1.2. Стратегія дослідницько-орієнтованого навчання математики в електронному навчальному курсі .....	28
1.3. Теорія і практика професійної підготовки майбутніх учителів математики та інформатики засобами цифрових технологій .....	48
1.4. Методична модель використання хмаро орієнтованих технологій навчання інформатичних дисциплін .....	75
1.5. Алгоритми генерування математичних завдань методом шаблонів .....	92
1.6. Математичне та комп'ютерне моделювання як невід'ємна частина математичної освіти студентів різних спеціальностей .....	115
1.7. Цифрові інструменти навчання математичного моделювання студентів економічних спеціальностей .....	131
1.8. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології для управління якістю вищої освіти (на рівні викладача) .....	149
1.9. Модель інноваційної освітньої екосистеми України .....	171

## **РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ І ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

2.1. Оптимізаційні функції керування в математичному моделюванні еволюційних процесів . . . . .	194
2.2. Методи математичного моделювання у дослідженні динаміки зміни структурних показників макрота мікроекономічних процесів . . . . .	210
2.3. Засоби візуалізації з високим рівнем електромагнітної сумісності. . . . .	223
2.4. Порівняння часу доступу до даних, організованих у різні структури мови JavaScript . . . . .	246
2.5. Тенденції побудови архітектури мереж інтернету речей . . . . .	254
2.6. Аналіз контенту каналів YouTube як засобів впливу на суспільне життя . . . . .	280
2.7. Рекурсивні нейронні мережі для автоматизованого аналізу даних атомно-силової спектроскопії . . . . .	294
<i>Висновки</i> . . . . .	323
<i>Авторський покажчик</i> . . . . .	329

# ПЕРЕДМОВА

---

Стрімка цифровізація суспільства спонукає до модернізації всіх сфер життя людини, що актуалізує створення та використання сучасних математичних методів, моделей і цифрових технологій у професійній діяльності. Особливого значення набувають дослідження в освіті та науці.

Монографія «Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці» є підсумковим результатом п'ятирічних досліджень колективу вчених кафедри комп'ютерних наук і математики Київського університету імені Бориса Грінченка та містить матеріали, що відповідають напрямам наукових пошуків авторського колективу. Це, зокрема, створення нових математичних знань теоретичного та прикладного характеру, розробка й удосконалення апаратно-програмних засобів автоматизованих систем керування, а також їх використання у підготовці майбутніх фахівців різних спеціальностей у закладах вищої освіти та фундаментальних і прикладних наукових дослідженнях.

Монографія включає два розділи «Цифрові технології в освітньому процесі» й «Математичні методи та інформаційні технології у фундаментальних і прикладних дослідженнях», які присвячені окремим питанням тем: теорія та практика впровадження сучасних цифрових технологій в освітній процес вищої школи; створення моделі інноваційної освітньої екосистеми України; математичне моделювання у дослідженні економічних про-

цесів; використання штучних нейромереж для аналізу даних; дослідження тенденцій розвитку мережі інтернету речей; розробка принципів надійної передачі даних у вбудованих системах тощо.

Оскільки вибрана тема є дуже широкою та різноплановою, складно в одній праці охопити все. Тож матеріали в монографії викладені так, щоб, зберігаючи логічну послідовність та концептуальну цілісність, максимально висвітлити авторське бачення того чи іншого аспекту комплексного дослідження. Таким чином, ми намагались залишити місце для обговорення, дискусії, обміну думками.

Сподіваємось, що матеріал буде цікавий науковцям, викладачам, аспірантам та студентам закладів вищої освіти, які цікавляться сучасними проблемами застосування математичних методів і цифрових технологій в освіті та науці.

# ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

## 1.1. ПРАКТИКА ВПРОВАДЖЕННЯ STEAM-ОСВІТИ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНОГО КЛАСУ

**Наталія Морзе, Вікторія Вембер, Марія Бойко**  
(Київський університет імені Бориса Грінченка)

STEM є основою для сучасних інновацій [1]. STEM-освіта може допомогти суспільству вирішити проблеми, пов'язані з викликами сьогодення, а саме: пошуком нових стимулів для конкурентоспроможності та лідерства на світовому рівні, визначенням нових вимог до освіти від роботодавців та високотехнічної промисловості, вирішенням соціальних проблем, зокрема в умовах пандемії. Посилення ролі STEM-освіти зумовлено необхідністю у підвищенні позитивної мотивації учнівської молоді до вивчення предметів природничо-математичного циклу й водночас високим запитом виробничої сфери на працівників, що володіють компетентностями для постановки і виконання завдань у таких сферах, як інженерія, медицина, екологія, IT, фармацевтика, нанотехнології, авіабудування тощо й відповідними державними вимогами [2].

Деякі дослідники стверджують, що STEM є занадто вузьким напрямом [1], тому в 2006 р. була запропонована альтернатива — акронім STEAM (наука, технологія, інженерія, мистецтво, математика). Цей напрям включає не лише наукове дедуктивно-індуктивне та логічне мислення, а й творче мислення і прикладне мистецтво при вирішенні практичних проблем реального життя, бо мистецтво — це інструмент уявлення та створення геніальних способів розв'язання проблемних питань, зведення принципів чи подання інформації [3].

На важливості надання учням та студентам ґрунтовної освіти в галузі STEAM наголошується в нормативних документах провідних країн світу, зокрема США [4], Європейського Союзу [5], Австралії [6].

У Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) в Україні [7], реалізація якої передбачена на період до 2027 р., зазначено, що з метою активного залучення здобувачів освіти до дослідницько-експериментальної, конструкторської діяльності необхідно впроваджувати нові методи та форми організації освітнього процесу.

Паралельне інтегроване навчання дисциплін допоможе зрозуміти, як використовувати здобуті знання в реальному житті. Одним із перспективних напрямів розвитку STEAM-освіти є робототехніка [8–9]. «Навчання за допомогою робототехніки дає можливість учням і студентам навчитися вирішувати реальні життєві проблеми, які потребують знань STEAM-предметів, зокрема:

- математики (просторові поняття, геометрія — для розуміння способів руху роботів);
- фізики (електроніка, принципи роботи датчиків, що є основою роботів);
- технології та дизайну (дизайн пристроїв, частин роботів, їх конструювання);
- ІКТ (програмування робототехнічних систем)» [10].

Одним із основних підходів до реалізації STEAM є наукова освіта. Незважаючи на не розуміння вчителями важливості сучасних освітніх трендів, формування у них базових компетентностей наукової освіти є важливим завданням для створення та підтримки повноцінної екосистеми STEAM [11]. Забезпечити взаємодію всіх зацікавлених осіб у розв'язанні завдань освіти в рамках концепції Нової української школи (НУШ) на місцевому, регіональному й національному рівнях, стати базою для екосистеми STEAM-освіти в університеті допоможе створення та використання інноваційного класу (ICR — innovative classroom) [12].

Метою статті є розробка практичних рекомендацій щодо впровадження STEAM-освіти на основі використання інноваційного класу, який є базою для створення екосистеми STEAM-навчання.



STEAM-освіта в дослідженнях багатьох авторів розглядається як перспективний підхід, яка передбачає використання інтегрованої навчальної програми, яка надає можливості для отримання «більш відповідного, менш фрагментованого та більш стимулюючого досвіду для учнів» [13, 186]. Проблеми реального світу не фрагментовані в окремих дисциплінах, яким навчають у школах, і для вирішення цих питань людям потрібні навички, що охоплюють ці предмети в комплексі [14]. Дослідження з широкого кола дисциплін засвідчили, що учні, які беруть участь в інтегрованій навчальній програмі, виконують завдання настільки ж добре чи навіть краще, ніж їхні однолітки у традиційному навчанні за окремими предметами [14–15]. Також встановлено, що використання зазначеної програми покращує некогнітивні результати навчання учнів, такі як інтерес до STEAM [16] та мотивація до навчання STEM [17], що своєю чергою може привести до збільшення кількості випускників STEAM [3].

В Україні останніми роками STEAM-освіта набула популярності й впроваджена на базі освітніх закладів із використанням різних форм і методів навчання. Інститут модернізації змісту освіти створив першу робочу групу з питань уведення STEM-освіти України в 2016 р. [18]. Була здійснена дослідно-експериментальна робота на тему «Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру (ВНМВ STEM-центр)» [19]. Організуються STEM-школи, проводяться фестивалі «STEM-весна», змагання «Роботрафік», «Краща STEM-публікація» тощо. Вивченням практики впровадження STEAM-освіти в різних країнах займаються українські науковці. Зокрема, досвід у країнах ЄС та США вивчає О. Коваленко [20]. С. Доценко [21] описує застосування STEM-освіти для розвитку творчих здібностей учнів. В. Круглик та В. Осадчий вивчають розвиток професійної компетентності майбутніх інженерів-програмістів [22–23]. Одним із напрямів досліджень С. Семерікова та ін. є використання віртуальної та доповненої реальності для навчання майбутніх викладачів STEM-дисциплін [24]. Н. Валько розробила систему підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM-технологій у професійній діяльності [25]. Останні дослідження свідчать про те, що успіш-

не впровадження STEAM-освіти залежить від сформованості у вчителів та майбутніх учителів STEAM-компетентностей, які включають в себе математичну компетентність, компетентність у природничих науках, інформаційно-цифрову компетентність, екологічну грамотність, підприємливість, спілкування іноземними мовами, культурну та соціальну компетентність [11]. Проте залишається недостатньо вивченим питання готовності вчителів до введення STEAM, рівень забезпечення шкіл необхідним обладнанням. Фрагментарно представлені кейси для вчителів, які вони могли б використовувати як приклади для впровадження STEAM у власній практичній діяльності.

Концепція STEM виникла на запит бізнесових організацій, які відчули дефіцит спеціалістів. Її метою було прискорити оволодіння технічними спеціальностями школярами, що мали відповідати технічному прогресу XXI ст.

До принципів STEM належать [1]:

— практична інтеграція науки й грамотності: модель, заснована на дослідженні з використанням інструкцій, що поєднують практичні заняття, аналіз, синтез, лексику, обговорення й організацію даних;

— забезпечення можливості для навчання через наукові дослідження, читання, письмо та використання математичних навичок у науковому контексті.

Основним педагогічним підходом при впровадженні STEAM є інтеграція компонентів. Зв'язок між практиками STEAM описано в *табл. 1.1.1.*

Для визначення рівня готовності вчителів до впровадження STEM, їхнє розуміння форм, інструментів та методів навчання, доцільних для використання при проведенні STEM-уроків, рівня забезпечення закладів освіти засобами навчання при впровадженні STEM застосовувався комплекс емпіричних (анкетування вчителів закладів загальної середньої освіти та студентів ЗВО педагогічних спеціальностей) методів й аналіз отриманих результатів. В анкетуванні взяло участь 114 респондентів: студенти Київського університету імені Бориса Грінченка та вчителі закладів загальної середньої освіти різних регіонів України.

Таблиця 1.1.1

## ЗВ'ЯЗОК МІЖ ПРАКТИКАМИ STEAM

Наука (S — Science)	Технології (T — Technology)	Інженерія (E — Engineering)	Мистецтво (A — Art)	Математика (M — Mathematics)
Поставити наукове питання	Визначити технологічні системи, від яких залежить суспільство	Визначити проблеми	Творче планування. Застосувати ігровий, винахідницький, художній підходи. Залучати праву півкулю мозку для творчого та інноваційного мислення	Визначити проблеми
Розробляти та використовувати моделі		Розробляти та використовувати моделі		Розробляти математичні моделі
Планувати та здійснювати дослідження	Дізнатися, як застосувати нові технології, коли вони стануть доступними	Планувати та здійснювати дослідження	Спланувати дослідження за допомогою опитування та проблемних методів навчання, що застосовуються в процесі творчості	Використовувати відповідні інструменти стратегічно
Аналізувати та інтерпретувати дані		Аналізувати та інтерпретувати дані		Бути уважним до точності

Продовження табл. 1.1.1

Наука (S — Science)	Технології (T — Technology)	Інженерія (E — Engineering)	Мистецтво (A — Art)	Математика (M — Mathematics)
Використовувати математику та обчислювальне мислення	Визначити роль, яку технології відіграють у просуванні науки та техніки	Використовувати математику та обчислювальне мислення	Задіяти гуманітарні, мовні мистецтва, танці, драматургію, музику, візуальне мистецтво, дизайн та нові медіа	Мислити абстрактно та кількісно
Побудувати пояснення	Приймати обґрунтовані рішення щодо технологій, враховуючи їх зв'язок із суспільством та навколишнім середовищем	Розробити рішення		Шукати та використовувати логічну структуру рішення
Брати участь у аргументації доказів		Брати участь у аргументації доказів	Створити візуально привабливий продукт або об'єкт, який базується на розумінні концепції STEAM	Будувати життєздатні аргументи і критикувати міркування інших
Отримувати, оцінювати та передавати інформацію		Отримувати, оцінювати та передавати інформацію		Шукати та висловлювати регулярність у повторних міркуваннях

Попри інтенсивну кампанію щодо популяризації STEM-освіти в Україні, опитування засвідчило, що не всім вчителям відоме поняття «STEM-освіта» (31,6 % — частково знають, 1,8 % — не знають) (рис. 1.1.1).

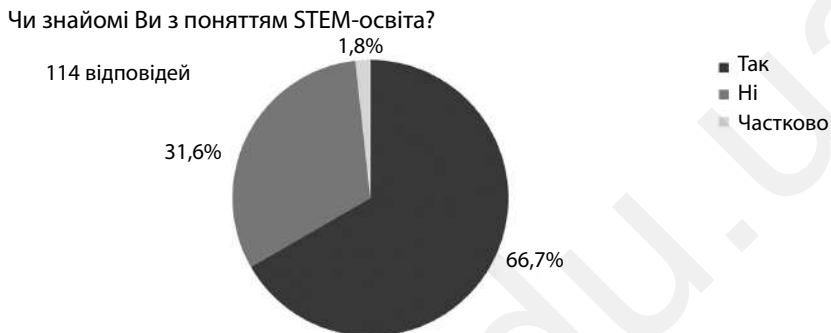


Рис. 1.1.1. Результати опитування щодо поняття «STEM-освіта»

Водночас більшість вчителів не згодна з твердженням про те, що STEM — це окремий обов'язковий предмет у школі (58 опитаних), і підтримує думку щодо необхідності запровадження STEM для всієї середньої освіти (48 респондентів) (рис. 1.1.2).



Рис. 1.1.2. Результати опитування щодо місця STEM-освіти в школі

Думка респондентів щодо видів освітньої діяльності, яку вчитель здійснює під час STEM-уроку, продемонструвала, що педагоги мають неточне уявлення про форми організації такої освітньої діяльності, її цілі та зміст (рис. 1.1.3).

Надає джерела для дослідження		85%
Організовує групову роботу		84%
Організовує обговорення		78%
Формулює проблему		72%
Керує процесом дослідження		69%
Проводить консультацію		68%
Визначає вимоги до готового продукту, що створюється учнями		56%
Підбиває підсумки уроку		55%
Ставить репродуктивні запитання учням		50%
Оцінює діяльність кожного учня на уроці		44%
Формулює тему уроку		43%
Робить презентацію теоретичного матеріалу		42%
Роздає індивідуальні завдання учням		34%
Пояснює новий матеріал		32%
Проводить опитування		27%
Викликає учнів до дошки		7%

Рис. 1.1.3. Результати опитування про види освітньої діяльності вчителя під час STEM-уроку

Особливості організації STEM-уроку залежать від рівня підготовленості учнів до здійснення самостійної дослідницько-пізнавальної діяльності як одного з основних підходів при вивченні STEM. Навчання на основі дослідження, або на основі запитів чи запитань, або дослідницько-пізнавальне навчання (Inquiry Based Learning (IBL)), передбачає залучення учнів до справжнього наукового процесу відкриття. Дослідницько-пізнавальне навчання — це педагогічна технологія, за якою учні дотримуються методів і видів діяльності для формування нових знань подібно до професійних вчених [26]. За цією технологією спочатку вчителі разом з учнями, а потім і учні самостійно навчаються ставити дослідницькі запитання та поступово, крок за кроком, відповідати на них при проведенні досліджень. При цьому

ці запитання не мають бути репродуктивними. Вони повинні мотивувати учнів до критичного мислення та пізнання на основі формулювання гіпотез і припущень, доведення, чи підтверджуються останні при проведенні експериментів з реальними або віртуальними об'єктами чи процесами.

Дослідницько-пізнавальне навчання варіюється за рівнем автономії, що надається учням, і охоплює широкий спектр підходів, починаючи від структурованого та керованого вчителем до відкритого запиту, спрямованого на учнів [27]. Деякі види діяльності мають бути обов'язково присутні на етапі формування в учнів умінь формулювати дослідницьке запитання, здійснювати пошукову діяльність, визначати методи дослідження та форму подання результатів. З іншого боку, при відкритому запиті вчитель може лише скеровувати процес дослідження (табл. 1.1.2).

Таблиця 1.1.2

## РІВНІ ДОСЛІДНИЦЬКО-ПІЗНАВАЛЬНОГО НАВЧАННЯ

Рівень	Питання	Метод	Результати
Структурований	Ставиться вчителем	Пропонується вчителем	Потрібно визначити
Керований	Ставиться вчителем	Потрібно визначити	Потрібно визначити
Відкритий	Потрібно визначити	Потрібно визначити	Потрібно визначити

Рівні дослідницько-пізнавального навчання вчитель може добирати в різних класах залежно від підготовленості учнів до роботи за технологією IBL.

*Структурований запит* — вибирається у разі, якщо група є новою для inquiry (дослідження за технологією запитів), оскільки не легко визначити учнів, що проявляють цікавість або беруть ініціативу на заняттях; далеко не всі готові взяти на себе відповідальність та ризику.

*Керований запит* — може вибиратися в одному з випадків:

1) група є відносно новою для дослідження за технологією запитів, але має ідентифіковану «групу прориву», члени якої генерують

ідеї, пропонують припущення і демонструють високий рівень цікавості. Незважаючи на те, що ця група може утворювати меншість, її впливу достатньо, аби «переносити» своїх одногрупників принаймні на початкові етапи дослідження;

2) група раніше брала участь у дослідженнях за технологією запитів (inquiry), і учні починають демонструвати більш високий рівень творчості, пропонуючи свої власні шляхи «розпитування».

*Відкритий запит* — застосовується, якщо учні мають досвід у дослідженнях за технологією використання запитів і можуть спрямовувати власне навчання самостійно, використовуючи регуляторні картки творчо або без підтримки карток взагалі. Вони можуть скористатися підказкою і самостійно сформулювати запитання, щоб створити правильний результат.

Дослідницько-пізнавальний цикл формується за послідовними етапами дослідження. Навчальна література описує різні етапи та цикли дослідження.

Наприклад, модель 5E дослідницько-пізнавального циклу, запропонована Р. Байбі, наводить п'ять етапів дослідження: залучення (Engagement), дослідження (Exploration), пояснення (Explanation), розробка (Elaboration) та оцінка (Evaluation) (рис. 1.1.4) [28].

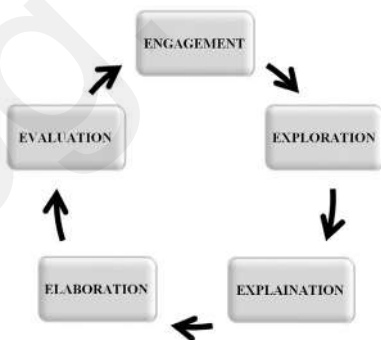


Рис. 1.1.4. Модель дослідницько-пізнавального циклу 5E

Базовий цикл дослідження, який використовується в середовищі Go-Lab, що включає в себе всі основні елементи, було запропоновано авторами [29–30] на основі широкого огляду циклів дослідження, описаних у літературі, та складається з таких етапів (рис. 1.1.5).



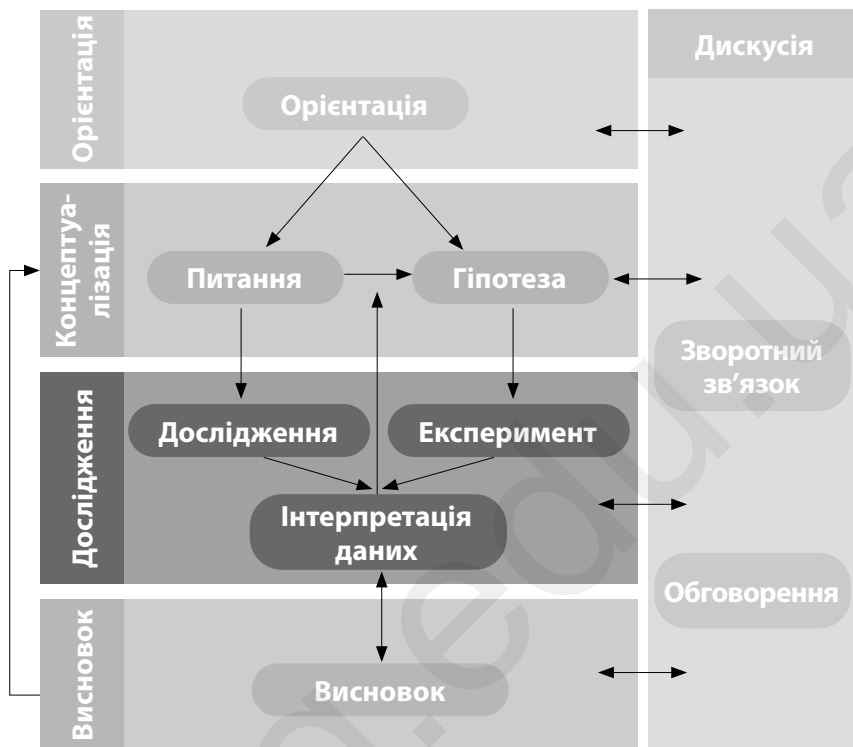


Рис. 1.1.5. Модель дослідницько-пізнавального циклу Go-Lab [30]

Go-Lab складається з таких етапів.

**Орієнтація (orientation)** — фокусується на заохоченні інтересу учня до предмета. На цьому етапі подаються основні поняття та змінні теми. Основним результатом його є початковий огляд теми.

**Концептуалізація (conceptualization)** — це етап, на якому учні повинні зосередити увагу на одному або кількох конкретних питаннях у вигляді одного або кількох дослідницьких питань (questions) чи гіпотез (hypothesis). Загалом гіпотеза — це твердження, в якому запропоновано певне співвідношення між незалежними та залежними змінними, а питання визначає напрям цього співвідношення.

На етапі **дослідження (investigation)** студенти створюють плани для дослідження та проводять експеримент (experimentation), який

може включати вивчення поведінки онлайн-лабораторії, керуючись питанням або виконуючи цілеспрямовані експерименти відповідно до висунутої гіпотези. Результатом цього етапу є інтерпретація даних (data interpretation).

На завершальній стадії учні повертаються до своїх оригінальних дослідницьких питань або гіпотез і доходять *висновку* (conclusion) про те, чи відповідають останні результатам дослідження.

*Обговорення* (discussion) полягає в тому, щоб обмінюватися процесом отримання знань та результатами з іншими, представляти й повідомляти результати та висновки, відображати власний процес дослідження [28].

Для реалізації STEM-підходу, на відміну від традиційних методів (рис. 1.1.6), доцільно використовувати спеціально організоване освітнє середовище, де для всіх етапів дослідницько-пізнавального процесу учні були б забезпечені необхідними засобами та підтримкою.



Рис. 1.1.6. Порівняння традиційного та STEM-підходу в навчанні

Такий освітній простір для досліджень сприятиме впровадженню інноваційних педагогічних технологій із використанням змішаного навчання, зокрема з ротаційними зонами для навчальної діяльності учнів класу, та є одним із ефективних шляхів впровадження STEAM-освіти. Прикладом такого середовища є Go-Lab.

Розглянемо кейс використання інноваційного класу, створеного в Київському університеті імені Бориса Грінченка в рамках міжнародного проекту «Модернізація педагогічної вищої освіти з використання інноваційних інструментів викладання» (MoPED) програми ЄС Еразмус + КА2 — Розвиток потенціалу вищої освіти, 586098-ERP-1-2017-1-UA-ERPКА2-СВНЕ-JP.

Інноваційний клас — це освітнє середовище, в якому забезпечується взаємозв'язок всіх рівнів екосистеми (місцевий, регіональний та національний). ICR як основа формування освітньої екосистеми є освітнім простором ХХІ ст., який побудовано на основі кращих європейських практик. В такому освітньому середовищі створюються передумови для впровадження інноваційних педагогічних технологій з використанням ротаційних зон класу (рис. 1.1.7), STEAM-освіти, формування в учасників освітнього процесу цифрової, підприємницької компетентностей та умінь навчатися протягом життя [12].

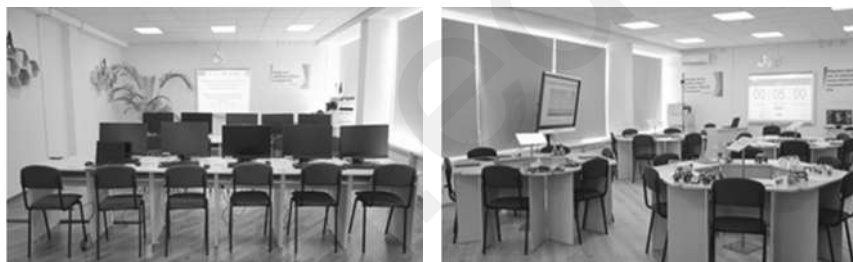


Рис. 1.1.7. ICR з різними ротаційними зонами класу в Університеті Грінченка

Розглянемо практичні рекомендації щодо впровадження STEAM-освіти на основі використання інноваційного класу, який є базою для створення екосистеми STEAM-навчання, на прикладі проекту «Маятник».

### Проект «Маятник»

Для реалізації проекту в інноваційному класі залучено 6 зон ротації: зона взаємодії з вчителем, зона роботи в групах, зона мейкерства, зона використання віртуальних лабораторій та дослідницько-пізнавального освітнього простору (ILS), технологічна зона, зона презентації результатів дослідницької діяльності.

Етап «Орієнтація» (зона взаємодії з вчителем, зона роботи в групах) передбачає вступ, введення в тему, залучення учнів до дослідницької діяльності. Мета — ознайомити учнів з новою темою дослідження. Учні пропонуються спостерігати за конкретним явищем чи процесом з метою їх зацікавлення та залучення до навчання відповідних теоретичних положень, які з ним пов'язані. Це можна зробити за допомогою віртуальних лабораторій чи безпосередньо в природі. Вчитель має сформулювати дослідницькі питання, пов'язані з явищем, що вивчається, запропонувати відео, після перегляду якого учні мають записати кілька фактів, про які в ньому йшлося. У класі цей процес може бути організований у зоні роботи з вчителем чи в групах (рис. 1.1.8).

Орієнтація	Шановні учні,
Побудова гіпотези	у цьому дослідницькому середовищі Ви будете працювати в групах, щоб дізнатися про принцип роботи маятника - як змінити період коливань.
Дослідження	Кожен член вашої групи отримає важливу інформацію, необхідну для остаточного розуміння залежності періоду коливань від різних впливів.
Аналіз даних	Ретельно дотримуйтеся інструкцій у навчальному середовищі та зверніться до свого вчителя для подальшої підтримки, коли це необхідно.
Висновки	
Обговорення	

**Крок 1.**

Ознайомтесь з історією та дайте відповідь на питання.

*У 16 столітті один студент відвідував Піванський собор; його увагу привернула лампа, що коливалася над головою. Він виміряв частоту коливань лампи, порівнявши їх частотою свого пульсу. Проміжки часу між кожним коливанням лампи, незважаючи на її розміри, були однаковими.*

*Це відкриття студента \_\_\_\_\_ допомогло німецькому вченому Крістіану Хігенсу створити новий годинник з маятником. Від того часу маятник використовується для регуляції ходу годинників протягом 250 років.*

*Навіть в наші часи ми можемо побачити годинники з маятниками, але не так часто, як електронні чи механічні годинники.*

Рис. 1.1.8. Етап «Орієнтація»

Етап «Побудова гіпотези» (зона роботи в групах) дає змогу учням робити припущення, висувати гіпотези, генерувати ідеї та обговорювати їх, брати участь у мозковому штурмі. Для цього можна запропонувати розглянути зображення, пов'язані з темою дослідження, та відповісти на запитання, які стануть початком процесу дослідження й допоможуть сформулювати припущення. Одним із важливих кроків формулювання гіпотези, яку потрібно перевірити в ході експерименту, є визначення змінних та встановлення

залежності між величинами. Експеримент можна проводити, використовуючи дослідницько-пізнавальне освітнє середовище Go-Lab (рис. 1.1.9).

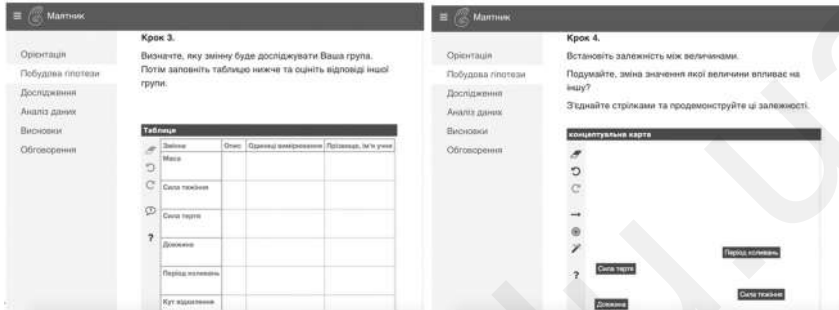


Рис. 1.1.9. Визначення змінних та встановлення залежності між величинами в Go-Lab

Середовище Go-Lab містить спеціальний конструктор, використання якого допоможе учням сформулювати гіпотезу на керованому та відкритому рівнях дослідницько-пізнавального навчання (рис. 1.1.10).

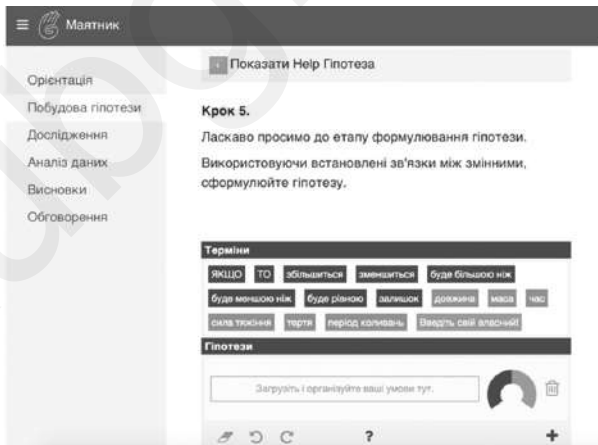


Рис. 1.1.10. Конструктор гіпотез в Go-Lab

Етап «Дослідження» (зона мейкерства, зона використання віртуальних лабораторій та ILS) передбачає виконання таких навчальних активностей, як дослідження, спостереження, збирання доказів та аргументів, проведення експериментів. Учні мають довести сформульовану гіпотезу чи спростувати її. Доцільно при цьому запропонувати використання віртуальної лабораторії, яка вбудована в Go-Lab (рис. 1.1.11).

**Крок 1.**  
Протягом наступних 5 хвилин ознайомтеся із симулятором.  
Знайдіть інструменти що дають можливість змінити значення змінних: масу, довжину тощо.

**Крок 2.**  
Проведіть вимірювання за допомогою симулятора з фіксуванням даних у інструменті "Проведення експерименту".

**Experiment Design Tool 2.0**  
Ви завершили цей набір експериментальних спроб. Ви можете додати додаткові спроби, проаналізувати результати їх, або створити новий експеримент з...

Властивості	Змінити	Зберегти постійною			Міра	
		Довжина маятника	Маса	Гравітація		Сила тертя
Маса	N					
Довжина маятника	1	0.1	1.0	1	1	100
Гравітація	2	0.5	1.0	1	1	50
Сила тертя	3	0.7	1.0	1	1	30
<b>Заходи</b>						
Період коливань	4	1	1.0	1	1	10

Показати Неф інструмент "Проведення експерименту".

Рис. 1.1.11. Використання віртуальної лабораторії та інструмента «Проведення експерименту» в Go-Lab

Етапи «Аналіз даних» та «Висновки» (технологічна зона та зона роботи в групах) передбачає оцінювання учнями зібраних даних, знаходження закономірностей, надання пріоритету доказам у відповіді на запитання, осмислення зібраних даних в Інтернеті, аналіз даних для формулювання висновків (рис. 1.1.12).

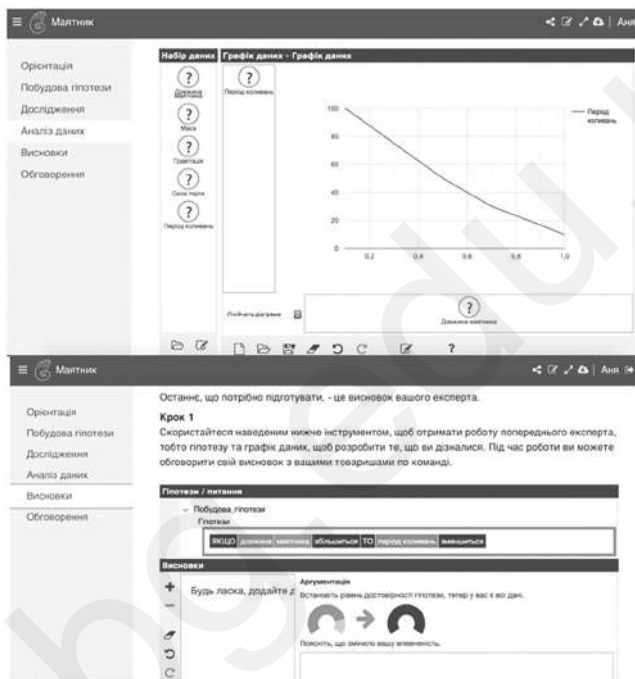


Рис. 1.1.12. Ресурси в Go-Lab для аналізу даних та підготовки висновків

Етап «Обговорення» (зона презентації результатів дослідницької діяльності) передбачає не лише односпрямований процес, коли учні презентують отримані висновки іншим, а й передбачає дискусію, яка розглядається як більш широкий, двоспрямований процес. Зокрема, учням пропонується взяти участь у дискусії, обговорити висновки в групі, оцінити власний прогрес та результати діяльності в команді (рис. 1.1.13).



Рис. 1.1.13. Ресурси в Go-Lab для проведення етапу «Обговорення»

Висновки. STEAM-освіта є актуальним освітнім трендом у світі та Україні, реалізація якого спрямована на подолання викликів сьогодення і підтримується на державному рівні. Результати проведеного анкетування свідчать про те, що більшість опитаних вчителів та майбутніх вчителів знайома або частково знайома з поняттям «STEM-освіта» та розуміє необхідність її запровадження в середній школі.

Застосування технології дослідницько-пізнавального навчання (IBL) на STEAM-предметах на базі інноваційного класу з використанням віртуальних лабораторій та інших цифрових ресурсів для підтримки дослідницького навчання сприятиме формуванню в уч-



нів навичок дослідницької діяльності, навичок XXI ст., підвищенню мотивації до навчання.

Перспективами подальших досліджень вбачаємо в аналізі особливостей впровадження STEAM-освіти в закладах державної та приватної форми власності; причин, які гальмують уведення STEAM у закладах середньої освіти; визначенні важливості застосування інноваційних методів та інноваційних технологій у STEAM-освіті.

*Подяка.* Дослідження, результати якого викладені в статті, частково проведено в рамках проекту «Модернізація педагогічної вищої освіти з використання інноваційних інструментів викладання» (MoPED) програми ЄС Еразмус + КА2 — Розвиток потенціалу вищої освіти, 586098-EPP-1-2017-1-UA-EPPKA2-SBHE-JP. Ця наукова розвідка відображає лише погляди авторів, і Європейська комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, уміщене в ній.

#### ДЖЕРЕЛА

1. Морзе Н., Нанаєва Т., Омельченко Н. STEM в освіті: навч. посіб. К.: ACCORD GROUP, 2018. 116 с.
2. Лист ІМЗО «Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти в закладах загальної середньої та позашкільної освіти у 2019/2020 навчальному році» від 22.08.2019 р. № 22.1/10-2876.
3. STEM and STEAM in contemporary education: challenges, contemporary trends and transformation. A discussion paper / X. Basogain et al. *Innovative Educational Technologies, Tools and Methods for E-learning*. Scientific Editor E. Smyrnova-Trybulska “E-learning”, 12, Katowice–Cieszyn, 2020, pp. 242–256. DOI: 10.34916/el.2020.12.21.
4. National Academy of Engineering and National Research Council. STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research. Washington, DC : The National Academies Press, 2014.
5. European Commission. Does Europe need more STEM graduates. Final report. 2015. Educational and training. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/60500ed6-cbd5-11e5-a4b5-01aa75ed71a1/language-en> (date of access: 09.12.2020).
6. Marginson S., Tytler R., Freeman B. and Roberts K. 2013. STEM: country comparisons: international comparisons of science, technology, engineering and mathematics (STEM) education. Final report. Australian Council of Learned Academies, Melbourne, Vic. URL: <http://dro.deakin.edu.au/eserv/DU:30059041/tytler-stemcountry-2013.pdf> (date of access: 09.12.2020).

7. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження Кабінету Міністрів від 5 серпня 2020 р. № 960-р.
8. Educational Robots in Primary School Teachers' and Students' Opinion about STEM Education for Young Learners / E. Smurnova-Trybulska et al. *International Association for Development of the Information Society*. 2016.
9. Морзе Н., Гладун М., Дзюба С. Формування ключових і предметних компетентностей учнів робототехнічними засобами STEM-освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. Т. 65, № 3. С. 37–52. URL: 10.33407/itlt.v65i3.2041.
10. Морзе Н., Струтинська О., Умрик М. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку STEM-освіти. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. № 5. С. 178–187. DOI: 10.28925/2414-0325.2018.5.178187.
11. Гриневич Л., Морзе Н., Бойко М. Наукова освіта як основа формування інноваційної компетентності в умовах цифрової трансформації суспільства. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Т. 77, № 3. С. 1–26. DOI: 10.33407/itlt.v77i3.3980.
12. Організація STEAM-занять в інноваційному класі / Н. Морзе та ін. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2020. № 8. С. 88–106. DOI: 10.28925/2414-0325.2020.8.9.
13. Furner J., Kumar D. The mathematics and science integration argument: A stand for teacher education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology*. 2007. Vol. 3, № 3. P. 185–189. DOI: 10.12973/ejmste/75397.
14. Literature review of science and mathematics integration / C. M. Czerniak et al. *School Science and Mathematics*. 1999. Vol. 99, № 8. P. 421–430. DOI: 10.1111/j.1949-8594.1999.tb17504.x.
15. Hinde E. T. Revisiting curriculum integration: A fresh look at an old idea. *The Social Studies*. 2005. Vol. 96, № 3. P. 105–111. DOI: 10.3200/TSS.96.3.105-111.
16. A meta-analysis on effective strategies for integrated STEM education / N. Mustafa et al. *Advanced Science Letters*. 2016. Vol. 22, № 12. P. 4225–4228. DOI: 10.1166/asl.2016.8111.
17. STEM integration: Teacher perceptions and practice / H. H. Wang et al. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*. 2011. Vol. 1, № 2. P. 1–13. DOI: 10.5703/1288284314636.
18. Наказ МОН «Про утворення робочої групи з питань впровадження STEM-освіти в Україні» від 29.02.2016 р. № 188. URL: <https://imzo.gov.ua/2016/02/29/nakaz-mon-vid-29-02-2016-188-pro-utvorennya-robochoyi-grupi-z-pitan-vprovodzhennya-stem-osviti-v-ukrayini/> (дата звернення: 14.12.2020).
19. Наказ МОН «Про проведення дослідно-експериментальної роботи всеукраїнського рівня за темою: “Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального

STEM-центру (ВНМВ STEM-центр)» на 2017–2021 роки» від 17.05.2017 р. № 708. URL: <https://imzo.gov.ua/2017/05/19/nakaz-mon-vid-17-05-2017-708-pro-provedennya-doslidno-eksperymentalnoji-roboty-vseukrajinskoho-rivnya-za-temoyu-naukovo-metodychni-zasady-stvorennya-ta-funktsionuvannya-vseukrajinskoho-naukovo-m/> (дата звернення: 14.12.2020).

20. Коваленко О., Сапрунова О. STEM-освіта: досвід упровадження в країнах ЄС та США. *Рідна школа*. 2016. № 4 (1036). С. 46–50.

21. Доценко С. Застосування STEM-освіти для розвитку творчих здібностей учнів початкової школи. *Современный научный вестник*. 2017. Т. 1, № 3. С. 76–78.

22. Kruglyk V. S., Osadchyi V. V. Developing competency in programming among future software engineers. *Integration of education*. 2019. Vol. 23, № 4. P. 587–606. DOI: 10.15507/1991-9468.097.023.201904.587-606.

23. Круглик В.С., Осадчий В.В. Структура професійної компетентності майбутнього інженера-програміста. *Педагогічний дискурс*. 2016. Вип. 21. С. 69–74. URL: <http://peddyskurs.kgpa.km.ua/Files/21/14.pdf>

24. Семеріков С.О., Литвинова С.Г., Мінтій М.М. Впровадження курсу з розробки програмних засобів віртуальної та доповненої реальності для майбутніх викладачів STEM-дисциплін. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2020. Т. 57. С. 55–63.

25. Валько Н.В. Система підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM-технологій у професійній діяльності: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04. Запоріжжя, 2020. 510 с.

26. Keselman A. Supporting Inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*. 2003. Vol. 40. P. 898–921.

27. National Research Council. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: The National Academies Press, 2000. 222 p.

28. Вембер В.П. Використання екосистеми Go-Lab для організації дослідницького навчання. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. № 2 (5). С. 41–50. DOI: 10.28925/2414-0325.2018.5.4150.

29. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle / M. Pedaste at al. *Educational Research Review*. 2015. Vol. 14. P. 47–61. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X15000068>

30. Innovations in STEM education: the Go-Lab federation of online labs / Ton de Jong at al. *Smart Learning Environments*. 2014. URL: <https://slejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40561-014-0003-6>

## 1.2. СТРАТЕГІЯ ДОСЛІДНИЦЬКО-ОРІЄНТОВАНОГО НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ В ЕЛЕКТРОННОМУ НАВЧАЛЬНОМУ КУРСІ

**Марія Астаф'єва, Олексій Жильцов,  
Оксана Литвин, Володимир Прошкін**  
(Київський університет імені Бориса Грінченка)

Сьогоднішнє інноваційне суспільство потребує фахівців нового типу, здатних відповідально, активно і продуктивно діяти в умовах динамічних змін, з високим ступенем міждисциплінарності та технологічності, готових швидко та ефективно навчатися. Саме тому Рада ЄС і Європарламент однією із ключових компетентностей для навчання протягом життя визначають математичну компетентність як здатність розвивати й застосовувати математичне мислення для розв'язання проблем у різних ситуаціях і контекстах, готовність простежувати причинно-наслідкові зв'язки, спроможність наводити й оцінювати аргументи, доводити [1]. Разом із тим проблеми сьогодення потребують від фахівців математичної компетентності не лише в загальному розумінні, а й на предметному рівні, що зумовлено як інтенсивним розвитком самої математичної науки, так і проникненням математики, її методів в інші, нематематичні сфери. Підготовка такого спеціаліста можлива лише в умовах дослідницько-орієнтованого навчання математики за активної і зацікавленої участі студента та партнерської взаємодії. Обов'язковими складовими такого навчання є постановка запитань, виявлення проблем, пошук шляхів розв'язання, дослідження, обговорення, розмірковування про альтернативи, переосмислення і оцінювання результату.

Останнім часом ефективність математичної підготовки у ЗВО пов'язують з інтенсивністю впровадження в освітній процес різних форм, методів і засобів електронного навчання. Дистанційне навчання надійно увійшло в практику університетської освіти через його переваги, серед яких, зокрема, технологічність, можливість індивідуалізації (власний темп і освітня траєкторія), відсутність гео-

графічних бар'єрів, забезпечення соціальної рівності (наприклад, доступ до навчання для осіб з особливими потребами), необмеженість кількості слухачів тощо.

У сучасних дослідженнях розкрито теоретико-методологічні застави інформатизації освіти (В. Биков, М. Жалдак, С. Раков, Ю. Триус, Е. Смирнова-Трибульська, С. Семеріков, Ю. Рамський, Л. Панченко, О. Співаковський, О. Спірін, Н. Морзе, В. Осадчий та ін.). У наукових розвідках зазначених авторів окреслено актуальні проблеми сутнісних характеристик інформатизації освіти, складників і структури методичних систем відкритої освіти, інформаційних технологій навчання, психолого-педагогічного обґрунтування характеру електронних навчальних ресурсів, валеологічних аспектів застосування ІКТ, готовності вчителів і учнів до роботи у відкритих освітніх системах тощо. Також у роботах авторів дослідження розглядалось формування математичної компетентності студентів засобами цифрових технологій [2–3].

Як свідчить практика, одним із найпоширеніших інноваційних засобів навчання математики є електронні навчальні курси (ЕНК) — комплекси навчально-методичних матеріалів, створених для організації індивідуального та групового вивчення студентами математичних дисциплін із використанням технологій дистанційного навчання.

Використання ЕНК при вивченні математичних дисциплін стали предметом дослідження низки науковців. Так, А. Ворох [4] дослідила структуру електронного навчального курсу з нарисної геометрії, О. Заїка [5] представила електронне навчально-методичне забезпечення курсу проєктивної геометрії. С. Радченко, Д. Бодненко й І. Юртин [6] розглянули проблему використання мультимедійних матеріалів навчального спрямування в електронних курсах з математики тощо.

Заслужують на увагу також роботи, спрямовані на покращення якості реалізації математичної дистанційної освіти з використанням ЕНК. Так, О. Жерновникова [7] розглянула психологічні аспекти реалізації дистанційних освітніх технологій у процесі підготовки майбутніх учителів математики, І. Алексеєва та ін. [8] — застосування математичних моделей тестів у комплекті дистанційної освіти «Вища математика», О. Комар [9] представила основні скла-

дові дистанційного навчання в курсі «Методика викладання математики» для студентів з «Початкової освіти», О. Глушак, В. Прошкін й О. Литвин [10] розкрили теоретичні й методичні засади використання ЕНК «Аналітична геометрія» у процесі професійної підготовки бакалаврів з комп'ютерних наук тощо.

Зазвичай дослідники цілком слушно розглядають використання ЕНК у площині покращення якості математичної підготовки студентів та формування їхньої математичної компетентності. Разом із тим багаторічний досвід використання електронного навчального курсу дає змогу окреслити й певне проблемне поле, пов'язане з різними методичними, дидактичними, етичними, психологічними та іншими аспектами е-навчання.

Метою дослідження є обґрунтування підходів щодо ефективного використання переваг та мінімізації недоліків і втрат електронного навчання як засобу формування математичної компетентності студентів в умовах дослідницько-орієнтованого освітнього процесу.

Орієнтиром у наших дослідницьких пошуках є Положення про ЕНК: порядок створення, сертифікації та використання у системі е-навчання Київського університету імені Бориса Грінченка [11]. У цьому документі наведені основні вимоги до ЕНК, дотримання яких має сприяти досягненню результатів навчання, задекларованих у робочій програмі дисципліни, а саме:

- структурованість навчально-методичних матеріалів;
- дотримання логічної послідовності вивчення навчальної дисципліни;
- чіткий графік виконання навчального плану;
- налагоджена система інтерактивної взаємодії викладача і студента, студентів між собою;
- висока якість пропонованих навчальних матеріалів, ресурсів;
- система контролю та оцінювання усіх видів навчальної діяльності студента.

Для з'ясування реального стану впровадження ЕНК в освітній процес та їх корисності задля формування математичної компетентності студентів ми протягом березня — травня 2019 р. провели констатувальний експеримент на базі Факультету інформаційних технологій та управління Київського університету імені Бориса Грінченка. Усього в дослідженні взяло участь 155 студентів з таких

спеціальностей: «Математика», «Комп'ютерні науки», «Фінанси, банківська справа та страхування», «Менеджмент». Крім того, до експерименту було залучено 25 викладачів у ролі експертів.

Орієнтиром для опитування студентів було взято «Анкету сприйняття» (“The Students Perception Questionnaire”) ЕНК з вищої математики в системі Moodle, за якою проводилося анкетування в одному з університетів Малайзії [12]. Анкета містила 20 показників, об'єднаних у 4 групи: 1) корисність; 2) комп'ютерна самоефективність; 3) простота; 4) загальне сприйняття. Шкала оцінювання — чотирибальна (від 1 до 4); чим вищий бал, тим позитивніше сприйняття.

Нашим студентам було запропоновано узагальнено оцінити ЕНК за тими ж чотирма показниками і за такою ж чотирибальною шкалою. Результати анкетування наведені в *табл. 1.2.1*.

Таблиця 1.2.1

#### РЕЗУЛЬТАТИ АНКЕТУВАННЯ ЩОДО СПРИЙНЯТТЯ СТУДЕНТАМИ ЕНК

№ п/п	Показник	Оцінка студентів КУБГ	Оцінка студентів Малайзії
1	Корисність ЕНК (наскільки допомагає мені у навчанні, робить навчання більш ефективним, поліпшує успішність; поглиблює розуміння матеріалу, полегшує сприйняття матеріалу тощо)	2,09	3,76
2	Комп'ютерна самоефективність (чи є доступ до контенту, чи можу користуватися усіма елементами і ресурсами ЕНК без додаткових пояснень, чи можу самостійно усунути проблеми, якщо такі виникнуть у процесі користування ЕНК)	3,26	3,48
3	Простота в користуванні (чи зручний інтерфейс, чи легко комунікувати з викладачем, студентами, звітувати про виконання завдань, ставити запитання тощо)	3,02	3,38
4	Загальне ставлення (чи подобається використовувати ЕНК: цікаво, захоплює в такий спосіб навчатися, інші позитивні емоційні відчуття або ж не цікаво, нудно та інші негативні відчуття)	2,84	3,71

Отримані статистичні дані ми порівняли, використовуючи критерій Пірсона  $\chi^2$ . Установлено, що для кількості ступенів свободи  $\nu = 1$  емпіричне значення критерію  $\chi_{\text{емп}}^2 = 2,424$ . Критичне значення

критерію  $\chi_{\text{кр}}^2 = \begin{cases} 7,815, p \leq 0,05 \\ 11,345, p \leq 0,01 \end{cases}$ ,  $\chi_{\text{емп}}^2 < \chi_{\text{кр}}^2$ , тобто в цілому розбіж-

ності між цими розподілами (погляди українських і малайзійських студентів на проблему використання ЕНК в освітньому процесі) статистично недостовірні. Разом з тим порівняння результатів анкетування українських і малайзійських студентів яскраво демонструє, що найбільші розходження маємо в оцінці корисності ЕНК та загального емоційного сприйняття. Це наводить на думку про те, що наші ЕНК здебільшого не забезпечують інтерактивне навчання й не створюють у студентів позитивної внутрішньої мотивації, тобто не виправдовують філософію освітнього середовища Moodle — педагогіку соціального конструктивізму, яка передбачає активне, дослідницько-орієнтоване навчання у партнерській взаємодії.

Крім того, у результаті опитування було з'ясовано, що переважна більшість студентів до проблем навчання математичних дисциплін за допомогою ЕНК зараховує такі:

— відсутність (або обмеженість) особистого спілкування між викладачем і студентом, а заявлена в теорії інтерактивна взаємодія слабо реалізується на практиці;

— недостатня зацікавленість самих студентів, особливо молодших курсів, щодо опанування математичних знань самостійно через слабку математичну підготовку та відсутність загальнонавчальних навичок;

— відсутність можливості практичного відпрацювання отриманих математичних знань із дальшим обговоренням можливих помилок;

— проблеми зі станом здоров'я (наприклад, вади зору), що не дають змоги довго працювати за комп'ютером;

— більшість лекцій ЕНК подано у вигляді нудної текстової інформації з мінімальною кількістю прикладів, графічних і відеоматеріалів та без будь-якої можливості зворотного зв'язку.

Ще одне опитування було проведено в червні 2020 р. під час дії карантину. Вимушений масовий перехід до електронного навчання став своєрідним глобальним викликом для всього освітянського се-



редовища, зокрема для вищої школи. Нам було цікаво з'ясувати, чи змінилися погляди студентства до зазначених проблем у процесі реалізації дистанційного навчання. (Окремі аспекти цього дослідження подано в роботі [13].)

Цікаво, що переважна більшість студентів доволі високо оцінює якість електронного навчання за 5-бальною шкалою (5 — 25,8 % респондентів, 4 — 40,0 %, 3 — 23,3 %, 2 — 5,9 %, 1 — 5,0 %). На нашу думку, цьому сприяла організація та проведення методичних семінарів для викладачів Університету Грінченка за напрямками: ознайомлення з ресурсами для цифровізації освітнього процесу з використанням технологій дистанційного та змішаного навчання; створення сучасних навчальних відеоматеріалів (відеолекцій, вебінарів, скрінкастів, відеоінструкцій, онлайн-конференцій); адаптація світового досвіду використання інструментів е-навчання тощо.

Результати опитування викладачів засвідчили, що доцільним також є використання відеороликів, розміщених на YouTube-каналі Університету Грінченка [14], про особливості організації роботи з ЕНК у системі Moodle та проведення навчальних занять за допомогою цифрових засобів (Hangouts Meet, Skype, Webex, Google Classroom, Zoom, Microsoft Teams тощо), а також інформації про навчальний курс з Moodle на Вікі Клівського університету імені Бориса Грінченка [15].

Разом із тим дослідження продемонструвало, що майже кожен десятий студент оцінює електронне навчання вкрай незадовільно (на 1 або 2 бали). Крім того, проблеми, окреслені нами у процесі констатувального експерименту в 2019 р., залишаються актуальними й нині. Критичне ставлення багатьох студентів до якості ЕНК спонукає звернути увагу на загальні проблемні питання дистанційного навчання. Для цього їм було запропоновано здійснити ранжування наявних проблем за таким принципом: 1 — найбільш вагомі, 5 — найменш вагомі (табл. 1.2.2).

Окреслимо певні тенденції:

— проведене опитування визначило вагому проблему — надмірна перевантаженість студентів завданнями. Як свідчить практика, викладачі не завжди враховують можливості студентів щодо опанування навчального матеріалу (час для самосійного вивчення матеріалу та виконання завдань, різний рівень підготовленості студентів (у т. ч. психологічної) тощо);

Таблиця 1.2.2

СТАВЛЕННЯ СТУДЕНТІВ ДО ПРОБЛЕМ  
ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Проблеми	Студенти
Брак формування практичних навичок	2
Міжособистісна комунікація	4
Перевантаженість завданнями	1
Слабке врахування рівня наявних знань студентів з дисципліни	3
Несвоечасність перевірки виконаних завдань та їх оцінювання	5

— актуальною залишається проблема слабкої спроможності дистанційного навчання для формування практичних навичок;

— несвоечасність перевірки виконаних завдань та їх оцінювання не є найвагомішою проблемою дистанційного навчання;

— зазвичай викладачі як представники старшого покоління вважають міжособистісну комунікацію запорукою реалізації якісного навчання. На думку мобільного «комп'ютеризованого» молодого покоління, слабка міжособистісна комунікація при реалізації дистанційного навчання не є вагомою проблемою.

У результаті опитування було також з'ясовано, що викладачі найчастіше використовують у роботі безкоштовну відкриту систему керування навчанням Moodle та різні програми для організації відеоконференцій (Hangouts Meet, Skype, Webex, Google Classroom, Zoom). Найбільш популярними є Hangouts Meet і Zoom. Це пов'язано з їх перевагами, серед яких найголовнішими є такі:

— значна кількість учасників у безкоштовному пакеті (до 250 осіб);

— доступний вибір платформ (Android, iOS, браузері "Chrome", "Mozilla", "Firefox", "Apple", "Safari", "Microsoft Internet Explorer", "Microsoft Edge");

— широкі можливості для приєднання (через браузер, мобільний додаток, Google-календар, за допомогою URL або коду зустрічі тощо);

— можливість запису відеозустрічі, демонстрації документів та вікон програми, перегляд контенту з високою роздільною здатністю, підтримка масштабування в мобільному додатку тощо.

Разом із тим лише частина викладачів використовує в роботі віртуальні цифрові дошки, програми для створення тестових завдань, програми для планування спільної роботи та пошуку напрямів вирішення навчальних проблем, програми для розроблення інтелектуальних карт, представлення класифікацій, ідей, структур тощо. Це зумовлює необхідність розроблення додаткових методичних рекомендацій для викладачів ЗВО.

Викладачі-експерти також окреслюють низку проблем щодо використання ЕНК під час навчання математики:

— лише в навчальній аудиторії викладач відчуває, наскільки студенти розуміють матеріал (за їхніми запитаннями, відповідями, емоціями тощо), що дає змогу оперативно вносити корективи в хід навчального заняття (акцентувати увагу студентів на певному теоретичному чи практичному аспекті, надати додаткові пояснення, звернути увагу на певні «тонкощі» доведення тощо);

— студенти, які звикли спілкуватися в віртуальному середовищі, доволі часто мають слабко сформовані комунікативні компетентності, що призводить до замкнутості, невпевненості, страху перед комунікацією. У них спостерігається наявний брак досвіду публічного виступу, дискусії, постановки та пошуку відповідей на навчальні завдання;

— актуальною також є проблема ідентифікації особистості студентів при виконанні завдань, наприклад тестів, завдань для домашнього опрацювання тощо.

Викладачі математичних дисциплін відзначають також труднощі, пов'язані зі створенням ЕНК. Зокрема, при розробці математичного контенту (лекції, завдання, тестові запитання, статті глосарію тощо) виникає потреба набору великої кількості формул, а Moodle не підтримує редактор формул у Word. Тому доводиться їх зберігати і вставляти картинками або ж набирати в LaTeX. Однак формули у вигляді картинок не можна редагувати. Крім того, вони потребують великого обсягу пам'яті, що суттєво сповільнює завантаження навчального матеріалу при роботі з ним в Moodle. Мовою ж LaTeX володіють не всі. Ця обставина ускладнює й комунікацію в ЕНК

«студент — викладач», «студент — студент», зокрема обмін інформацією, що містить математичні тексти.

Не вдаючись у технічні питання створення структурних одиниць ЕНК у Moodle і роботи з ними, зосередимось на проблемах підготовки контенту (наповнення лекцій, практичних завдань, тестів тощо) та вибору форм діяльності з метою ефективного використання переваг і мінімізації втрат комп'ютерного навчання порівняно з традиційним.

Як відомо, дидактичною метою лекції з математики є введення студентів у наукову проблему, розкриття основних питань теми, вирішення поставленої проблеми, обґрунтування методу, зосередження уваги на найскладніших (проблемних, суперечливих) моментах, можливостях застосування теоретичних знань, підготовка студентів до дальшої самостійної роботи. Правильно організована лекція робить неможливим пасивне навчання. Проте віртуальна лекція (в електронному курсі) позбавлена такого важливого фактору, як безпосереднє спілкування лектора зі студентами, під час якого він має можливість вести «сократівський діалог», ставити запитання, спонукаючи слухачів відповідати і самим формулювати запитання; опонує, стимулюючи уявне експериментування, заохочує, а то й провокує дискусію; дає студентам можливість «безпечно» помилятися, обирати свій, якщо він навіть тупиковий, шлях, формулювати гіпотези, робити висновки, а головне — може вчасно реагувати на відповіді, міркування, запитання студентів, вносити необхідні корективи у свої пояснення відповідно до потреби імпровізувати.

Як же в електронному навчальному курсі можна компенсувати безпосереднє «живе» спілкування лектора зі студентами, реалізуючи принцип інтерактивності? Проілюструємо це на прикладах фрагментів лекцій авторського ЕНК з математичного аналізу в середовищі Moodle [16] (рис. 1.2.1).

Для створення лекції електронного навчального курсу в Moodle пропонується використовувати ресурс «Книга» або діяльність «Урок». Модуль «Книга» дає змогу викладачеві розробляти багатосторінкові ресурси в книжковому форматі з розділів і підрозділів. Книжки можуть містити контент у вигляді тексту, рисунка чи медіафайлів. Однак лекція у форматі «Книга» не стимулює студента

до дослідницько-пошукової діяльності, не створює умов для його інтерактивної взаємодії з викладачем, а швидше схожа на звичайну паперову книгу, яку студент пасивно читає. Тому зазначений ресурс мало придатний для лекції; його доцільно застосовувати для стислого викладу певної теми (поняття, теореми, формули, методи тощо) або створення довідника. Для конструювання ж лекції найкраще використовувати діяльність «Урок». Модуль «Урок» дає змогу не просто подати той чи той теоретичний матеріал, а й передбачити діяльність студента, зворотний зв'язок (взаємодію), можливість надання студенту необхідної допомоги в ході опрацювання матеріалу.

## Змістовий модуль 2. Похідна та її застосування


Головним поняттям диференціального числення є похідна функції. Що таке похідна? Як (і для чого) її обчислювати? Як допомагає похідна розв'язувати задачі і які це задачі?

Відповіді на ці та деякі інші запитання Ви знайдете у процесі вивчення тем цього змістового модуля.

 Карта до змістового модуля 2

 Обговорюємо проблему

### Тема 5. Похідна і диференціал функції однієї змінної

 Залиште свій відгук

 Результати навчання (компетентності) за темою 5

#### Теоретичний навчальний матеріал


 Лекція 10. Похідна і диференціал

 Лекція 11. Похідна і диференціал (продовження)

 Похідна (відеолекція проф. Девіда Джерісона, Массачусетський технологічний інститут)

 Лекція 12. Основні теореми диференціального числення

 Основні теореми диференціального числення

 Лекція 13. Похідні і диференціали вищих порядків. Формула Тейлора

 Формула Тейлора

#### Практичні заняття

 ПЗ 9

 ПЗ 10

 ПЗ 11

 ПЗ 12

 ПЗ 13

#### Завдання для самостійної роботи


 Завдання для СР до Тем 5

Рис. 1.2.1. Фрагмент титульної сторінки ЕНК «Математичний аналіз»

Для цього, по-перше, увесь лекційний матеріал слід розбити на короткі змістово завершені блоки; після кожного з них пропонувати запитання (або завдання) на перевірку розуміння викладеного теоретичного матеріалу. Залежно від відповіді на поставлене запитання (завдання) студент переходить на наступну сторінку (якщо відповідь правильна) або ж (якщо відповідь неправильна) повертається назад на попередню; при цьому в коментарі до його неправильної відповіді дається пояснення суті помилки або підказка чи скерування до відповідного теоретичного матеріалу, незнання якого призвело до помилки. Таким чином викладач має можливість моніторити увесь процес опрацювання студентом лекції, надаючи на кожному етапі необхідну допомогу. Студент же пройде лекцію до кінця, якщо по ходу правильно відповідати на усі запитання, тобто активно працюватиме (аналізуватиме, порівнюватиме, аргументуватиме, доводитиме, ставитиме запитання, висловлюватиме гіпотези тощо), а не просто буде пасивно читати текст.

По-друге, виклад матеріалу (наприклад, доведення теореми) має бути у формі уявного діалогу (автор курсу ставить запитання і сам на нього відповідає), щоб у студента складалося відчуття, ніби він сам міркує. Опрацьовуючи лекцію, студент має бачити приклад дослідницько-пошукового шляху пізнання і вчитися на цьому прикладі ставити запитання: чому? А що буде, якщо...? Які обмеження? Як дізнатися? тощо (рис. 1.2.2). Так само виклад має перемежовуватися запереченнями (уявного опонента) і відповідями на них.

## Лекція 2. Основні методи інтегрування

Попередньо переглянути Редагувати Звіт Оцінювання есе

### Метод інтегрування частинами

Ви запам'ятали формулу інтегрування частинами. Тепер, закономірно, виникають наступні запитання.

Чи будь-який інтеграл виду  $\int u dv$  можна взяти частинами? І, якщо не будь-який, то як впізнати той, що частинами береться?

Як знати, яку з функцій слід позначити через  $u$ ?

Відповіді на ці запитання далі.

попередня

наступна

Рис. 1.2.2. Фрагмент лекції із запитаннями

По-третє, як і на реальній лекції, автор курсу не поспішає повідомити готовий факт, а спонукає студента до експерименту (реального, за допомогою певного ресурсу, наприклад систем Go-Lab, GeoGebra, чи уявного) та формування гіпотези, а також описує (наче сам проводить) цей експеримент і висуває гіпотезу або ж пропонує студентові зробити це (рис. 1.2.3).

### Лекція 1. Первісна та невизначений інтеграл

Попередньо переглянути Редагувати Завіти Оцінювання есе

Наведений вище приклад підказує загальний висновок: якщо функція  $F(x)$  – первісна для функції  $f(x)$ , то й  $F(x) + C$ , де  $C$  – довільна стала, також первісна для  $f(x)$ . У цьому незалежно переконатися: оскільки  $F'(x) = f(x)$  (бо  $F(x)$  – первісна для  $f(x)$ ), то  $(F(x) + C)' = F'(x) + C' = f(x)$ .

Виникає питання: чи є для функції  $f(x) = x^2$ , наприклад, первісна, змінна частина якої відмінна від  $\frac{x^3}{3}$ ? Спробуйте знайти таку первісну і висловити гіпотезу:

А) Для функції  $x^2$  будь-яка первісна має вигляд  $\frac{x^3}{3} + C$ , де  $C$  – довільна стала, тобто дві будь-які первісні відрізняються лише на сталу.

Б) Для функції  $x^2$  існує первісна, змінна частина якої відмінна від  $\frac{x^3}{3}$ .

А

Б

Відріаати

Рис. 1.2.3. Фрагмент лекції із завданням висловити гіпотезу

По-четверте, пам'ятаючи, що на електронній лекції викладач не бачить студента і не може візуально оцінити, наскільки той уважно слухає і чи розуміє матеріал, автор ЕНК має знаходити можливість спонукати слухача до усвідомленого сприйняття віртуальної лекції. Для цього слід час від часу ставити запитання типу: «Що впливає з цієї умови?», «Для чого такі обмеження?», «Де використовується та чи та умова теореми?» тощо. Наприклад, після фрагмента лекції з математичного аналізу про інтегрування методом заміни змінної, де заміною  $x = a \sin t$ ,  $t \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$  обчислюється інтеграл  $\int \sqrt{a^2 - x^2} dx$ , студентам пропонується вказати, де у наведених міркуваннях використовується умова  $t \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$  (рис. 1.2.4).

По-п'яте, перевага надається тестовим завданням відкритого типу; формуючи тестове завдання, варто програмувати (передбачати) помилки, щоб була можливість коригувати освітню траєкторію студента.

I, нарешті, мова викладу має бути не канцелярсько-книжною, а «живою», персоніфікованою, наближеною до безпосереднього спілкування під час очної лекції.

Де (у якому місці) цих міркувань використовується умова  $t \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ ?

- Ніде не використовується, тому ця умова в задачі зайва.
- У перетворенні (\*) при використанні формули синуса подвійного аргументу.
- У перетвореннях (\*)  $\sqrt{\cos^2 t}$  замінили на  $\cos t$ , оскільки для  $t \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$  (на правому півколі) косинус невід'ємний і тому  $\sqrt{\cos^2 t} = |\cos t| = \cos t$ .
- Щоб із формули заміни  $x = \arcsin t$  виразити однозначно  $t$  через  $x$ ,  $t$  має змінюватися на проміжку  $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ .

Відправити

Рис. 1.2.4. Фрагмент лекції на тему «Методи інтегрування» з тестовим завданням

Наведемо приклад фрагмента лекції 4 на тему «Поняття про границю числової послідовності» у вигляді «живого» діалогу, в ході якого студента спонукають до уявного експерименту і підводять таким чином до означення нового (для студента) поняття:

«Раніше ми вже сформувавали на чуттєвому рівні поняття збіжної послідовності та границі послідовності. Так, спостерігаючи за поведінкою членів послідовності  $x_n = \frac{1}{n}$ , ми помітили, що вони згущуються біля точки 0. Математики кажуть, що зазначена послідовність збігається до нуля або що вона має границю 0. Спробуємо тепер дати чітке математичне означення цього поняття.

Що означає «члени послідовності скупчуються, згущуються біля точки»? Очевидно, вони підходять до цієї точки як завгодно близько; тобто відрізняються від цього числа як завгодно мало. Візьмемо, наприклад, послідовність  $x_n = \frac{1}{n}$ . Уявімо собі, що на числовій прямій монітора щосекунди загорається ліхтарик у точці з координатою  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = \frac{1}{2}$ ,  $x_3 = \frac{1}{3}$  тощо, наближаючись, як ми вже зазначили, до точки 0. Ми хочемо цей рух зупинити. Для цього оточимо точку 0



бар'єрами  $\pm \frac{1}{10}$ . Чи це зупинить наближення членів послідовності до нуля? Очевидно, що ні. Уже на одинадцятій секунді черговий (одинадцятий) член послідовності, а за ним усі наступні бар'єр долають (ліхтарики один за одним засвічуватимуться зліва від нашого бар'єра, невмолимо наближаючись до нуля).

А якщо точку 0 оточити новими бар'єрами  $\pm \frac{1}{100}$ ? Чи зупинимо рух членів послідовності? Очевидно, що ні. Уже сто перший член, а за ним усі наступні наш новий бар'єр долають.

То, можливо, ми недостатньо близько вибудовуємо ці бар'єри навколо нуля? Та ні. Як би щільно ми не оточили бар'єрами точку 0, ми не зможемо “уберегти” її від “нашесть” членів послідовності, чи не так?

Тому цілком логічним буде таке означення збіжної послідовності.

Означення. Кажуть, що послідовність  $x_n$  збігається до  $a$  або що число  $a$  є границею послідовності  $x_n$ , якщо у будь-який окіл точки  $a$  потрапляють усі члени послідовності, починаючи з деякого».

Оскільки математична компетентність означає здатність діяти, то, очевидно, її формування можливе лише в процесі активної пошуково-дослідницької діяльності (і виявляє вона себе в реальній поведінці індивіда в конкретній ситуації). Органічним і апробованим полем для останньої є математичні задачі.

У структурі математичних дисциплін значна частина навчального часу відведена на практичні заняття, де у процесі розв'язування задач формуються, зокрема, уміння й навички практичного застосування теоретичних знань. Віртуальне (дистанційне) навчання будь-якого практичного навичку малоефективне. Тому у своїй практиці ми використовуємо ЕНК у системі Moodle для підтримки традиційного навчального процесу з очною формою навчання, впроваджуючи частково змішану (комбіновану) модель.

Однак обмежена можливість ЕНК щодо реалізації практичного заняття може і має бути перетворена на перевагу. Справа в тому, що на практичному занятті немає часу довго думати над задачею, а більшість задач нерепродуктивного характеру потребує повільного думання. Тому на практичному аудиторному занятті доцільно розв'язувати переважно тренувальні завдання на безпосереднє засвоєння

понять, теорем, стандартні задачі на засвоєння певних математичних методів і прийомів. Нестандартні ж задачі, творчі завдання на пошук методу розв'язання, аналіз, дослідження отриманого результату тощо, які й створюють сприятливі умови для того, щоб задіяти вищі рівні когнітивних процесів, але потребують для цього більше часу, того самого «повільного думання», краще пропонувати для роботи поза аудиторією. Продуктивна ідея, правильний або оптимальний шлях розв'язання найчастіше народжуються внаслідок обговорення, дискусії. І майданчиком для такої комунікації в ЕНК є чат і форум (рис. 1.2.5).

### Задаємо питання на тему числових рядів

*Іноді питання важливіші за відповіді!*

Шановні студенти!

Ось ми й завершуємо вивчення теми "Числові ряди". Пропоную Вам поставити за цією темою "математичні" запитання. Поставте своє запитання, а також давайте відповіді як на своє ж запитання, так і на запитання своїх колег. Будьте готові оцінити запитання та відповіді одногрупників.

Запитуйте! Дискутуємо! Пізнаємо!

Бажаю Вам успіху і радості пізнання!

Обговорення	Почато користувачем	Група	Відповідей	Останнє повідомлення
Ознака Лейбніца	 Ахмедова Катерина Андріївна	МАБ-1-19-4.0д	6	Груздьева Катерина Ігорівна Tue 29 Dec 2020 18:20 PM
Ряди	 Масло Максим Євгенійович	МАБ-1-19-4.0д	8	Булатецкий Михайло Михайлович Tue 30 Jun 2020 10:27 AM
Додатні ряди	 Гарбуз Дарина Олександрівна	МАБ-1-19-4.0д	2	Астафьева Мария Миколаївна Tue 30 Jun 2020 09:09 AM
Питання про збіжність	 Булатецкий Михайло Михайлович	МАБ-1-19-4.0д	6	Масло Максим Євгенійович Mon 29 Jun 2020 13:02 PM
Питання	 Проданчук Нікіта Євгенійович	МАБ-1-19-4.0д	2	Ахмедова Катерина Андріївна Mon 29 Jun 2020 12:46 PM

Рис. 1.2.5. Приклад завдання, що спонукає студентів до пошуково-дослідницької діяльності та його обговорення на форумі

Ще одним видом діяльності, який можна ефективно використовувати для спільного виконання студентами певних завдань, роботи над колективними проектами, є Вікі. Вона дає змогу учасникам додавати та редагувати набір вебсторінок як з можливістю їх виправлення усіма учасниками, так і внесенням змін лише у свої вікі. Історія попередніх версій кожної сторінки в Вікі зберігається

з переліком змін, зроблених кожним учасником. І це дуже зручно, бо дає можливість викладачеві простежувати траєкторію кожного студента у процесі виконання завдання та в разі необхідності своєчасно реагувати. Прикладами використання Вікі в ЕНК є створення студентами коротких конспектів, довідників теоретичного матеріалу при підготовці до практичних занять (рис. 1.2.6–1.2.7) та реалізація колективного проекту з розробки динамічних моделей до задач проективної геометрії в системі GeoGebra [17–18].

Важливим елементом будь-якого навчання є діагностика і моніторинг результатів. Оскільки при електронному навчанні переважає автоматизована перевірка знань, то найпоширенішою формою

### Колективний конспект "Найголовніше про дійсні числа".

Це завдання для усієї групи.

Шановні студенти!

Прошу Вас створити короткий конспект за темою "Множина дійсних чисел": основні поняття, властивості, формули, ілюстративні приклади та контрприклад.

Бажаю успіху!

Перегляд Редагувати Коментарі Історія Мапа Файли Керування

### Список групи

Алла Орел

Вікторія Гуссава

Марія Унтілова

Михайло Кучава

Тетяна Масло

Юлія Мисько

Рис. 1.2.6. Завдання групі студентів створити короткий конспект до теми «Множина дійсних чисел»

### Алла Орел

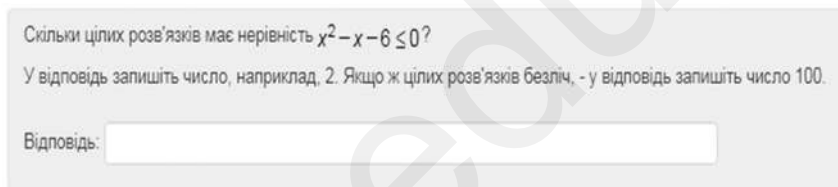
Порівняти версію 1 з версією 2

Версія 1 Переглядає Вікторія Гуссава 4 October 2019, 12:47 PM	Алла Миколаївна Орел AM	Версія 2 Переглядає 4 October 2019, 12:55 PM
<p>Що таке раціональне число ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Раціональне число - це ціле або дробове число .</li> <li>2. Раціональне число - це звичайний дріб .</li> <li>3. Раціональне число - це скінченний або нескінченний періодичний десятковий дріб .</li> </ol>		<p>Що таке раціональне число ?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Раціональне число - це ціле або дробове число .</li> <li>2. Раціональне число - це звичайний дріб .</li> <li>3. Раціональне число - це скінченний або нескінченний періодичний десятковий дріб .</li> </ol> <p>Що таке множина раціональних чисел ? Раціональні числа ( познач. <math>\mathbb{Q}</math> ) - це всі цілі , всі дробові числа або це - всі скінченні та нескінченні періодичні десяткові дроби .</p>

Рис. 1.2.7. Історія створення вікі студенткою А. О.

такої перевірки й оцінки є тестування. Завдяки швидкому зворотному зв'язку тест може стати важливим інструментом для студентів, щоб оцінити їхню власну діяльність і допомогти стати більш успішними. Правильно дібраний тест дає викладачеві необхідну інформацію про ступінь засвоєння навчального матеріалу студентами.

Ефективність контролю знань методом тестування визначається якістю тестових завдань. У Moodle є потужний інструментарій для створення тестів з різними типами запитань. Для оцінки рівня математичних знань та здатності їх застосовувати на практиці, що є неодмінним показником математичної компетентності, найбільш придатними є тести відкритого типу з вільно конструйованою відповіддю (рис. 1.2.8).



Скільки цілих розв'язків має нерівність  $x^2 - x - 6 \leq 0$ ?

У відповідь запишіть число, наприклад, 2. Якщо ж цілих розв'язків безліч, - у відповідь запишіть число 100.

Відповідь:

Рис. 1.2.8. Тестове завдання відкритого типу

У тестових завданнях з варіантами відповіді на вибір закладена «спокуса» просто вгадати відповідь. А якщо навіть виключити вгадування, то між розпізнати правильну відповідь і самому її сформулювати — велика різниця. Якщо, наприклад, завдання відкритого типу пропонує знайти корінь рівняння, то студент має його розв'язувати; якщо ж до цього завдання будуть запропоновані варіанти відповідей, серед яких одна правильна, то він може знайти її безпосередньою підстановкою. Очевидно, що в другому варіанті жодної інформації про те, чи володіє студент методами розв'язування певного типу рівнянь, ми не матимемо.

Крім того, розробка тесту, який відповідав би критеріям валідності, потребує спеціальних компетентностей у галузі тестології. І значною мірою це стосується тестів із закритими тестовими запитаннями. Таких спеціальних знань автор ЕНК / викладач зазвичай не має. Тому часто набір запитань із вибором однієї чи кількох правильних

відповідей, зовні схожий на тест, насправді не є таким і адекватної інформації про знання ні студентів, ні викладачеві не дає.

Наостанок зазначимо, що при формуванні тестових завдань слід пам'ятати, що сьогодні відповідь на будь-яке запитання репродуктивного характеру легко знайти в Інтернеті. Тому немає сенсу вносити такі запитання в контрольні тести.

Здійснене дослідження засвідчує, що електронне навчання крім очевидних переваг (технологічність, можливість індивідуалізації, відсутність географічних бар'єрів, забезпечення соціальної рівності, необмеженість кількості слухачів тощо) має й певні недоліки. Однак природа останніх лежить не стільки у площині самих можливостей, скільки в умінні їх ефективно використати.

Результати опитування, з одного боку, засвідчили готовність студентів використовувати ЕНК, а з іншого — низьку оцінку їх корисності й не зовсім позитивне загальне емоційне сприйняття. Це дає підстави дійти висновку про невисоку якість електронних навчальних курсів, а отже, й неефективність тих ЕНК, які не забезпечують інтерактивне навчання та не створюють у студентів позитивної внутрішньої мотивації, тобто не виправдовують філософію освітнього середовища Moodle — педагогіку соціального конструктивізму (активне, дослідницько-орієнтоване навчання у партнерській взаємодії).

Виходячи з того, що ефективне формування математичної компетентності студентів можливе лише в процесі дослідницько-орієнтованого навчання за умови активної, зацікавленої участі студента та партнерської взаємодії, запропоновано дидактичні й методичні підходи щодо підготовки контенту та організації діяльності в ЕНК з математики. Також, зважаючи на специфіку математики як навчальної дисципліни, пропонується використання ЕНК для підтримки традиційного навчального процесу з очною формою навчання, впроваджуючи частково змішану (комбіновану) модель.

Результати досліджень можуть бути корисні при проведенні підвищення кваліфікації викладачів математичних дисциплін університетів, зокрема в питаннях розробки та організації контенту ЕНК, а також використання в них інструментів пошуково-дослідницького характеру.

## ДЖЕРЕЛА

1. Council Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning. URL : [http://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/council-recommendation-on-key-competences-for-lifelong-learning\\_en](http://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/council-recommendation-on-key-competences-for-lifelong-learning_en) (accessed : 08.09.2019).
2. Astafieva M., Bodnenko D., Lytvyn O., Proshkin V. The use of digital visualization tools to form mathematical competence of students. CEUR Workshop Proceedings. 2020. 2740. P. 416–422.
3. Astafieva M., Bodnenko D., Lytvyn O., Zhyltsov O., Proshkin V. Mathematical preparation of students for their professional self-realization in modern innovative society. SHS Web of Conferences. 2020. No. 75. URL : [https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2020/03/shsconf\\_ichtml\\_2020\\_04010/shsconf\\_ichtml\\_2020\\_04010.html](https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2020/03/shsconf_ichtml_2020_04010/shsconf_ichtml_2020_04010.html) (accessed: 18.12.2020).
4. Ворох А. О. Структура електронного навчального курсу з нарисної геометрії. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2011. № 30–31. С. 193–203.
5. Заїка О.В. Електронне навчально-методичне забезпечення курсу проєктивної геометрії. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методи навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2015. Вип. 41. С. 300–304.
6. Радченко С.П., Бодненко Д.М., Юртин І.І. Використання мультимедійних матеріалів навчального спрямування в електронних курсах для закріплення знань. *Проблеми сучасної педагогічної освіти. Педагогіка і психологія*. 2013. Вип. 39 (4). С. 135–139.
7. Жерновникова О.А. Психологічний аспект реалізації дистанційних освітніх технологій у навчальний процес майбутніх учителів математики. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Сер.: Педагогічні науки*. 2017. Вип. 2. С. 219–225.
8. Алексеева І.В., Гайдей В.О., Диховичний О.О., Коновалова Н.Р., Федорова Л.Б. Застосування математичних моделей тестів у комплекті дистанційної освіти «Вища математика». *Математичні машини і системи*. 2010. № 4. С. 89–97.
9. Комар О. Дистанційне навчання при викладанні курсу «Методика викладання освітньої галузі “Математика” на факультеті початкової освіти. *Психолого-педагогічні проблеми сільської школи*. 2015. Вип. 53. С. 115–120.
10. Hlushak O. M., Proshkin V. V., Lytvyn O. S. Using the e-learning course «Analytic geometry» in the process of training students majoring in computer science and information technology cloud technologies in education. Proceedings of the 6th workshop CTE — 2018. 2018. P. 472–485.
11. Положення про ЕНК: порядок створення, сертифікації та використання у системі е-навчання Київського університету імені Бориса Грін-

чення. URL: [http://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vdd/documenty/rozdil\\_7/nakaz\\_96\\_18.02.19.pdf](http://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vdd/documenty/rozdil_7/nakaz_96_18.02.19.pdf) (дата звернення: 25.09.2019).

12. Effandi Zakaria, Md Yusoff Daud. The role of technology: Moodle as a teaching tool in a graduate mathematics education course. *Asian Journal of Management Sciences and Education*. 2013. Vol. 2. No. 4. P. 46–52.

13. Khoruzha L., Proshkin V. Distance learning: on the way to developing a new didactic model of university education. *Innovative educational technologies, tools and methods for e-learning, 2020*. Vol. 12. P. 171–183.

14. Центр технологій дистанційного навчання Київського університету імені Бориса Грінченка. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCjzIdgmWuiTpg5ne74xZHuw/videos> (дата звернення: 08.01.2020).

15. Вікі Київського університету імені Бориса Грінченка. URL: [http://wiki.kubg.edu.ua/Навчальний\\_курс\\_з\\_Moodle](http://wiki.kubg.edu.ua/Навчальний_курс_з_Moodle) (дата звернення: 08.01.2020).

16. Електронний навчальний курс «Математичний аналіз». URL: <https://elearning.kubg.edu.ua/course/view.php?id=8084> (дата звернення: 25.09.2019).

17. Astafieva M. M., Bodnenko D. M., Proshkin V. V. Using computer oriented geometry means in the process of critical thinking formation of future mathematics teachers. *Information Technologies and Learning Tools*. 2019. No. 3. P. 102–121.

18. Astafieva M. M., Bodnenko D. M., Proshkin V. V. Cloud-oriented technologies of training as a means of XXI century skills forming of future mathematics teachers. *ICT in Education, Research, and Industrial Applications. Proc. 15th Int. Conf. ICTERI 2019*. Vol. I: Main Conference. Kherson, Ukraine, June 12–15. 2019. P. 523–528.

### 1.3. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ТА ІНФОРМАТИКИ ЗАСОБАМИ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Володимир Прошкін**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

**Людмила Хоружа**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

**Олена Семеніхіна**

*(Сумський державний педагогічний університет  
імені А.С. Макаренка)*

В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій вимоги до рівня професійної підготовки майбутніх учителів, зокрема математики та інформатики, різко зростають. Професіоналізм сучасного вчителя — це не лише його компетентності в різних сферах знань у галузі своєї професії, його висока кваліфікація, що є запорукою успішної роботи. Від учителів інформатики та математики вимагають уже не тільки застосування традиційних форм і методів навчання, а ще й розроблення інноваційних, зокрема пов'язаних з цифровими технологіями.

Особливої актуальності зазначена проблема набуває в контексті навчання математики. Так, результати ЗНО з математики за останні роки, міжнародного дослідження якості освіти PISA — 2018 [1] та інших досліджень визначають рівень математичної грамотності українських учнів як такий, що нижче середнього. Це виразно демонструє рівень математичної підготовки учнів ЗЗСО. Для сьогоднішніх мобільних і комп'ютеризованих школярів твердження про те, що математика — фундамент усіх наук, який розвиває їхнє мислення, вже не є авторитетом. Отже, учителям шкіл потрібний оновлений методичний інструментарій, що дасть змогу зацікавити учнів математикою. На нашу думку, математична підготовка в школі має сприяти формуванню впевненості учнів у власних силах і здатності застосовувати математику для розв'язання повсякденних завдань. Тому цей аспект має враховувати фахова підготовка майбутніх учителів в університеті.



Отже, виникає необхідність у певному «перезавантаженні», оскільки наявна система методичної підготовки не лише майбутніх учителів математики, а ще й інформатики, адже для останніх математична підготовка є базисною. Основними векторами таких змін ми вважаємо цифрові технології, які використовуються в контексті чотирьох «К» — креативності, комунікативності, критичного мислення та командної роботи (за Т. Годованюк [2]).

Теоретико-методологічним підґрунтям реалізації дослідження вважаємо такі наукові розвідки щодо вивчення нормативно-правових документів. Так, у 2018 р. Європейським парламентом та Радою ЄС схвалено оновлену редакцію ключових компетентностей для навчання протягом життя [3]. Провідне місце відведено цифровій компетентності, під якою розуміють упевнене, критичне та відповідальне застосування й взаємодію з цифровими технологіями, зокрема через створення цифрового контенту.

У монографії «Цифрова трансформація відкритих освітніх середовищ» (за редакцією В. Бикова) чітко окреслено роль цифрових технологій в освіті. Зокрема, у ній зазначено, що успішне застосування цифрових технологій є завданням освіти ХХІ ст., з ним пов'язане навчання, розвиток, побудова успішної життєвої траєкторії. Важливим напрямом освітньої політики сьогодні є процеси інформатизації навчання [4].

Проблеми розвитку інформатизації освіти досліджено в роботах В. Бикова, О. Глазунової, А. Гуржія, М. Жалдака, Т. Коваль, О. Колгатіна, О. Кузьминської, Н. Морзе, Л. Панченко, С. Семерікова, О. Співаковського, О. Спіріна, Ю. Триуса та ін. Крім того, варто виділити наукові розробки, що реалізуються в Університеті Грінченка в розвідках М. Астаф'євої, В. Вембер, Д. Бодненка, О. Жильцова, О. Литвин, О. Глушак, О. Буйницької та ін.

У низці дисертаційних робіт розкрито різні аспекти застосування цифрових технологій у процесі підготовки майбутніх учителів математики та інформатики: використання систем Moodle, Delphi як засобів розвитку предметних компетентностей (К. Колос, С. Петренко), системи DSpace як засобу активізації науково-дослідної роботи (О. Олексюк), систем комп'ютерної математики як засобу навчання дослідження операцій (У. Когут), використання мережних технологій відкритих систем у навчанні (Т. Вдовичин). У досліджен-

ні О. Коглатіна розроблено теоретико-методичні засади проектування комп'ютерно орієнтованої системи педагогічної діагностики майбутніх учителів природничо-математичних спеціальностей.

Проблема професійної підготовки майбутніх учителів математики та інформатики засобами цифрових технологій посилилась на початку 2020 р., коли ми всі стали свідками певної інтенсифікації дистанційного навчання. Вимушений масовий перехід до електронного навчання на період дії карантину став своєрідним глобальним викликом для всього освітянського середовища, зокрема для вищої школи. Це окреслило низку вагомих проблем на різних рівнях: національному — вироблення стратегії і тактики реалізації дистанційного навчання в умовах вимушеного карантину; інституційному — вибір університетами структури й форм дистанційного навчання, орієнтуючись на наявні освітньо-професійні (наукові) програми, навчальні плани, рівень підготовки студентів тощо; особистісному — забезпечення реалізації дистанційної фахової підготовки майбутніх учителів математики та інформатики, контролю за її якістю.

Ураховуючи, що питання професійної підготовки майбутніх учителів математики та інформатики засобами цифрових технологій досліджувалося нами протягом усього періоду виконання наукової теми «Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті і науці» (реєстраційний номер 0116U004625), виділимо основні напрями дослідження:

- 1) застосування комп'ютерних математичних інструментів у фаховій підготовці учителів математики та інформатики;
- 2) автоматизація контролю математичних знань у програмах динамічної математики (ПДМ);
- 3) реалізація фахової підготовки майбутніх учителів математики та інформатики в умовах соціального дистанціювання.

Розкриваючи **перший напрям дослідження**, зазначимо, що вагому частину змісту професійної підготовки вчителів інформатики та математики займають математичні дисципліни. Тому заслуговує на увагу проблема підготовки вчителя до застосування спеціалізованого програмного забезпечення в умовах навчання в університеті. На нашу думку, зазначена проблема може бути розглянута в таких ракурсах:

- 1) уточнення спеціалізованого програмного забезпечення математичного спрямування, яке сьогодні використовується у мате-

матичній підготовці вчителів математики та інформатики, а також у школах України;

2) аналіз комп'ютерних інструментів, що застосовується вчителем у найпоширеніших ПЗ математичного спрямування;

3) окреслення проблем учителів математики та інформатики в професійній діяльності.

Аналіз наукових публікацій у галузі методики математики дає підстави говорити про використання окремих типів спеціалізованого програмного забезпечення — системи комп'ютерної алгебри та програм динамічної математики. До перших зараховують такі програми, як Maple, Mathematica, Maxima та ін., до других — GSP, GeoGebra, GRAN, DG тощо. Серед програм першого типу немає таких, які пропонують українські розробники, що пояснюємо об'єктивними обставинами відсутності достатнього фінансування таких проєктів. Серед програм другого типу відзначимо українські GRAN та DG, які свого часу були рекомендовані для використання у школах України.

Аналіз науково-методичних публікацій щодо застосування спеціалізованого ПЗ у галузі математики дає підстави говорити про активне використання більшою мірою програм другого типу.

З метою розв'язання першого завдання було проведено опитування, яке полягало у дослідженні відповідей на запитання: «Яке програмне забезпечення математичного спрямування використовується в навчанні таких дисциплін: математичний аналіз, лінійна алгебра, аналітична геометрія, проєктивна геометрія, диференціальні рівняння, диференціальна геометрія і топологія, математичне моделювання, лінійне програмування, теорія груп, теорія ймовірностей і математична статистика, комплексний аналіз, методика навчання?»; «Яке програмне забезпечення математичного спрямування використовується в навчанні алгебри і початків аналізу, планіметрії, стереометрії?».

Вибірка для першого завдання склала 13 викладачів та 73 учителя різних регіонів України, які мають досвід роботи у старших класах не менше трьох років. У результаті опитування вибрано тип найпопулярніших програмних засобів, для якого здійснено аналіз наявних комп'ютерних інструментів та складено перелік найбільш затребуваних у роботі вчителів математики й інформатики.

Результати опитування засвідчили популярність спеціалізованих програмних засобів математичного спрямування першого типу Maple, Maxima, Matlab та другого — GeoGebra. На нашу думку, вибір Maple можна пояснити потужністю інструментарію, широким колом завдань, яке допомагає розв'язати ця програма. Вибір Maxima обґрунтовано вільним поширенням і достатньо потужним інструментарієм для розв'язування математичних задач для вчителів. Вибір Matlab пояснюємо потужністю інструментарію та значним поширенням серед університетів. Вибір GeoGebra — вільним поширенням, специфікою інструментарію та його постійним оновленням, що дає змогу розширити коло математичних завдань.

За результатами опитування також встановлено, що популярними в навчанні математики в школі є програмні засоби другого типу, причому найбільшу перевагу мають GeoGebra і MathKit, після яких йде GRAN. Пояснюємо це вільним поширенням, зручним і зрозумілим інтерфейсом, достатнім для розв'язування шкільних завдань інструментарієм. Також використання засобів GeoGebra і MathKit часто передбачено освітніми програмами підготовки майбутніх учителів математики та інформатики, зокрема при вивченні методики навчання, що теж може бути причиною їх популярності в роботі вчителів.

За результатами аналізу комп'ютерних інструментів ПДМ створено їх перелік (табл. 1.3.1).

Таблиця 1.3.1

## КОМП'ЮТЕРНІ ІНСТРУМЕНТИ, ЗАКЛАДЕНІ У ПДМ

Інструмент, доступний з панелі або меню	DG	Gran 1	Gran2D	Gran3D	Cabri	Cabri 3D	GeoGebra	GeoGebra 5.0	Жива математика	Математичний конструктор
Калькулятор	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Побудова точки, прямої, променя, відрізка, кола	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+

## Продовження табл. 1.3.1

Інструмент, доступний з панелі або меню	DG	Gran 1	Gran2D	Gran3D	Cabri	Cabri 3D	GeoGebra	GeoGebra 5.0	Жива математика	Математичний конструктор
Побудова середини відрізка, бісектриси	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Побудова дуги	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Побудова сектора, сегмента	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+
Побудова перпендикуляра чи паралельної прямої	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Поділ відрізка або кута на частини	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
Визначення довжини, кута, площі	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Побудова многокутника	+	-	±	-	+	+	+	+	+	+
Побудова дотичної до кривої	-	-	±	-	-	-	+	+	-	+
Побудова графіка функції, заданої явно і неявно	-	+	-	+	-	±	±	±	±	+
Побудова графіка функції, заданої параметрично	-	+	-	-	-	-	±	±	±	+
Побудова інтерполяційного полінома	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+
Перетворення графіків функцій	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Дії над множинами	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Побудова многогранників	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-
Керування просторовими об'єктами	-	-	-	±	-	+	-	+	-	-
Обчислення визначених інтегралів, розв'язування рівнянь і нерівностей різних типів, їх систем	-	+	-	±	-	-	±	±	-	-
Статистичне опрацювання результатів	-	+	-	-	-	-	+	+	-	±

Зазначений перелік є достатнім для розв'язування типових завдань шкільного курсу математики.

Також нами здійснено аналіз методичного інструментарію, який передбачено розробниками програм другого типу (табл. 1.3.2).

Таблиця 1.3.2

## МЕТОДИЧНІ ПРИЙОМИ, ПЕРЕДБАЧЕНІ В ПДМ

Характеристика	DG	Gran 1	Gran2d	Gran3d	Cabri	Cabri 3d	GeoGebra	GeoGebra 5.0	Жива математика	Математичний конструктор
Покрокова анімація	*	-	*	-	*	*	*	*	*	*
Створення власних інструментів	*	-	*	-	-	-	*	*	*	*
Встановлення позначок на об'єкті	-	-	-	-	-	-	*	*	-	*
Обмеження зображення	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
Вбудовані демонстрації	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
Встановлення типу й кольору об'єктів	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Встановлення кнопок	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*
Приховування об'єктів	*	*	*	-	*	*	*	*	*	*
Організація контролю	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
Динамічний слід	*	-	*	-	*	*	*	*	*	*

Як свідчать дані таблиці, у програмі “MathKit” методична підтримка роботи вчителя є найбільшою, що дає змогу посилити ефект від навчання за рахунок створення власних інструментів, встановлення позначок на об'єкті, можливість обмежувати зображення, використовувати вбудовані демонстрації, встановлювати кнопки, приховувати об'єкти та організовувати автоматизований контроль за математичним розв'язанням, що не завжди можна передбачити в інших програмах.

За результатами експертного опитування ми визначили перелік проблем учителів математики та інформатики при використанні спеціалізованого програмного забезпечення другого типу.

1. Використання ПДМ вимагає *переосмислення учителем форм і методів навчання*. Традиційне розв'язування задач з підручника за допомогою програмних засобів не завжди є доцільним. Як приклад, задачі на перетворення виразів вимагають розуміння формул, геометричні задачі на доведення потребують додаткової початкової підготовки, велика кількість завдань передбачає просто відпрацювання окремого вміння (полічити, спростити, обчислити). У той же час, якщо вчитель планує залучити комп'ютер, варто використовувати задачі, де передбачено певне дослідження без прив'язки до конкретних чисел-даних. Інакше кажучи, вчителю варто творчо скорегувати зміст задачі з посібника.

2. *Пошук нестандартних і творчих завдань*. Це пов'язано із тим, що сучасна педагогічна теорія і практика декларує розвиток творчих здібностей учнів, у тому числі використовуючи цифрові технології. Відомо, що одним із складників творчого мислення є інтуїція. Саме зміст математичних задач зумовлює її розвиток. Науковці стверджують, що розв'язання задач якнайкраще сприяє розвитку спостережливості, умінню застосовувати наочно-образне мислення тощо.

Нами відзначені ідеї реалізації міжпредметних зв'язків як такі, що сприяють не тільки формуванню умінь моделювати об'єкти різної природи, а й кращому засвоєнню предметних і надпредметних знань. Зокрема, пропонується візуалізація молекул і атомів речовин, будова яких підпорядкована законам симетрії, або ж моделювання руху води садового шланга під дією сили тяжіння тощо.

3. *Проблема раціонального вибору середовища*. Проведені нами спостереження засвідчили ситуації, коли задачу розв'язують за допомогою комп'ютерного інструмента, який не є оптимальним. Однак цю проблему легко усунути, коли вже є досвід роботи з такими інструментами та визначено можливості їх використання на уроках математики. Так, для розв'язування задач стереометрії не завжди доречно залучати програму "Gran3D", оскільки її обмежений інструментарій (створення базових стереометричних об'єктів, паралельне перенесення і поворот) не дає змоги оперувати рівняннями об'єктів та їх перетвореннями (програма "Cabri 3D" також не передбачає за-

дання об'єктів їх рівняннями), натомість ПДМ *GeoGebra* може ефективно допомагати у розв'язуванні задач, заданих аналітично.

4. Принципово іншого методичного змісту набуває вміння вчителем здійснювати *перевірку результатів розв'язання задачі за допомогою комп'ютерної програми*. Важливо зрозуміти підхід учня щодо здійснення розв'язку. Так, задача про побудову квадрата може бути розв'язана кількома способами, не кожен з яких виявиться коректним (наприклад, побудова прямих, які візуально перпендикулярні між собою, але не зберігають цю властивість при динамічній зміні конструкції).

5. *Стандартні помилки при використанні комп'ютерних інструментів*. Серед таких помилок — неправильний синтаксис команд, некоректне використання інструмента, відсутність розуміння результату впливу інструментом на об'єкт, невміння пояснити отримані розв'язки після застосування інструмента тощо. Типові помилки не обмежуються лише тими, що подано вище. Акцентовання уваги на них додає упевненості в тому, що майбутні вчителі зможуть їм запобігати. Тому вкрай значущим є чітке подання навчального матеріалу, правильно дібрана система вправ, рекомендацій, що попереджують виконання помилкових дій.

Ми маємо глибоке переконання, що зазначені проблеми можуть бути усунуті за умови підготовки вчителів математики та інформатики до творчого вибору форм і методів навчання, здатності знаходити нестандартні або творчі математичні завдання; вміння здійснити виважений вибір спеціалізованого ПЗ, бачення можливих шляхів перевірки отриманого учнем комп'ютерного результату та типових помилок при використанні комп'ютерних інструментів.

**Другий напрям наукових пошуків.** Отримані В. Прошкіним й О. Семеніхіною результати дослідження щодо застосування комп'ютерних математичних інструментів у процесі професійної підготовки майбутніх учителів математики [5] дали змогу визначити теоретичні засади використання інформаційних засобів для контролю навчальних досягнень, зокрема залучення ПДМ для автоматизації контролю математичних знань.

Здійснений нами аналіз комп'ютерного інструментарію ПДМ *MathKit*, *GeoGebra* (програми вибрані як найбільш популярні за результатами опитування майбутніх учителів математики і вчи-



телів-практиків) дав можливість з'ясувати шляхи автоматизації контролю математичних знань, серед яких:

- 1) безпосередня перевірка цілісності конструкції;
- 2) покрокова демонстрація розв'язання;
- 3) використання спеціальних інструментів контролю (інструмент «Перевірити відповідь» для автоматичної перевірки відповіді через реалізований заздалегідь алгоритм розв'язання, «Поле вводу відповіді» для запитань з відкритою формою відповіді, «Чекбокс» для запитань із закритою формою відповіді — з однією чи кількома правильними відповідями).

Опишемо більш детально шляхи автоматизації контролю математичних знань на базі ПДМ.

### 1. Безпосередня перевірка цілісності конструкції.

У ПДМ передбачено можливість перевірити правильність побудови через інтерактивний вплив на об'єкт — зміна положення елементів, на яких побудована конструкція, не має вплинути на коректність відображення результату.

Доволі часто при побудові математичної моделі задачі суб'єкти учіння спираються на візуальну схожість / подібність геометричної конструкції, а не усталені правила побудови. У цьому разі навіть при незначних змінах положення базових об'єктів цілісність побудов порушується.

**Приклад 1.** Побудувати пряму Ейлера (GeoGebra) (рис. 1.3.1a–1.3.1б).

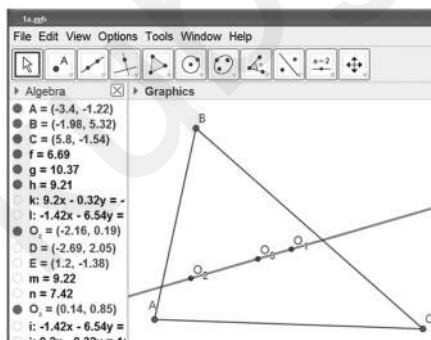


Рис. 1.3.1a. Правильна побудова

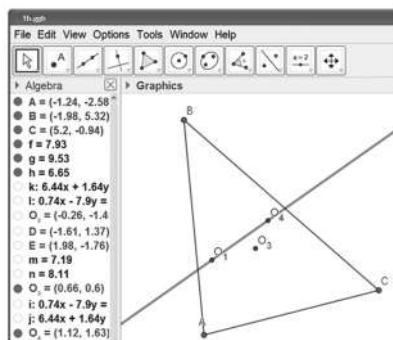


Рис. 1.3.1б. Неправильна побудова

Пряма Ейлера — це пряма, на якій лежать три центри (центроїд — точка  $O_1$ , ортоцентр — точка  $O_2$  та центр описаного кола — точка  $O_3$ ) будь-якого трикутника.

Описаний спосіб контролю відбувається швидко, але застосовується зазвичай при перевірці геометричних задач (задачі на побудову, задачі на геометричне місце точок, задачі на побудову перерізів многогранників).

## 2. Покрокова демонстрація розв'язання.

У ПДМ передбачено можливість покрокової демонстрації розв'язання. Так, для *MathKit* покрокова демонстрація задається кнопками «Показати / Сховати» та «Презентація» (рис. 1.3.2а).

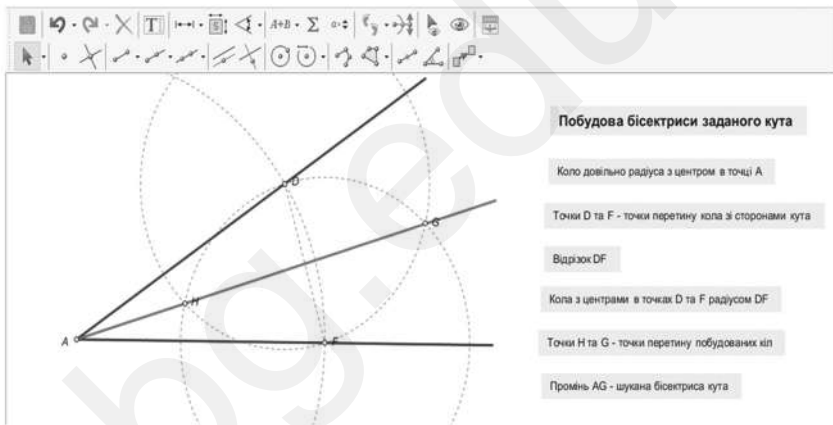


Рис. 1.3.2а. Покрокова демонстрація побудови бісектриси кута в *MathKit*

У *GeoGebra* для покрокової демонстрації також можна використовувати кнопки, але для цього потрібно написати скрипт кнопки мовою Java або ж перейти в режим «Кроки побудови» чи активізувати «Вид / Протокол», де режим «Кроки побудови» також активний (рис. 1.3.2б).

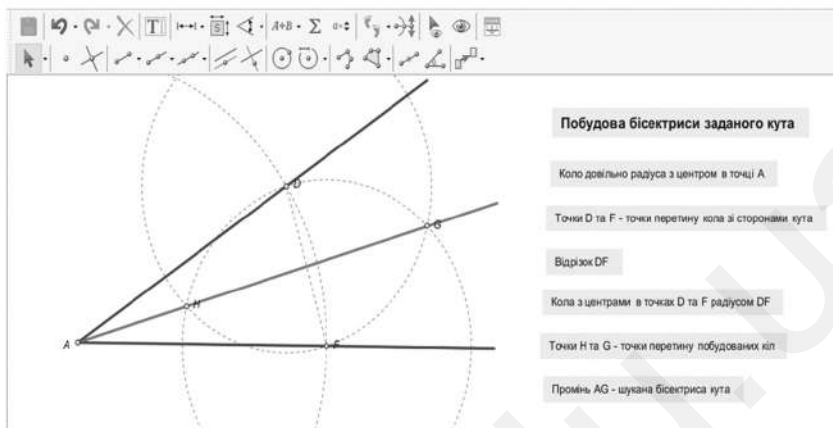


Рис. 1.3.26. Покрокова демонстрація побудови бісектриси кута в GeoGebra

### Приклад 2. Побудувати бісектрису заданого кута.

У такий спосіб маємо можливість перевірити логіку міркувань суб'єктів учіння при розв'язуванні математичної задачі, але таку форму контролю вважаємо частково автоматизованою, оскільки її використання вимагає додаткових витрат часу на перегляд кожного кроку розв'язання та аналізу їх коректності.

### 3. Використання спеціальних інструментів контролю.

Так, розробниками програми “MathKit” пропонуються інструменти «Чекбокс», «Поле вводу відповіді», «Перевірити відповідь».

Інструмент «Чекбокс» покликаний автоматизувати тестову перевірку знань за двобальною шкалою «правильно — неправильно». Для використання інструмента «Чекбокс» створюються поля, де можна прописати текст умови завдання і поставити позначку, яка відповідь правильна.

Для організації перевірки знань на основі чекбоксів використовується інструмент «Перевірити відповідь»: якщо варіанти відповідей суб'єкта учіння повністю збігаються з еталонними, то на екран виводиться повідомлення про правильну відповідь.

### Приклад 3. Вкажіть пари подібних трикутників (рис. 1.3.3).

Будуємо можливі пари фігур з урахуванням типових помилок, поряд з кожною парою створюємо чекбокс. Для автоматизації контролю створюємо кнопку «Перевірити відповідь», для чого фіксуємо правильні відповіді, потім обов'язково виділяємо усі чекбокси (з позначками та без) і вибираємо «Перевірити відповідь» через меню «Кнопки / Перевірити відповідь».

Знімаємо позначки і зберігаємо готове завдання.

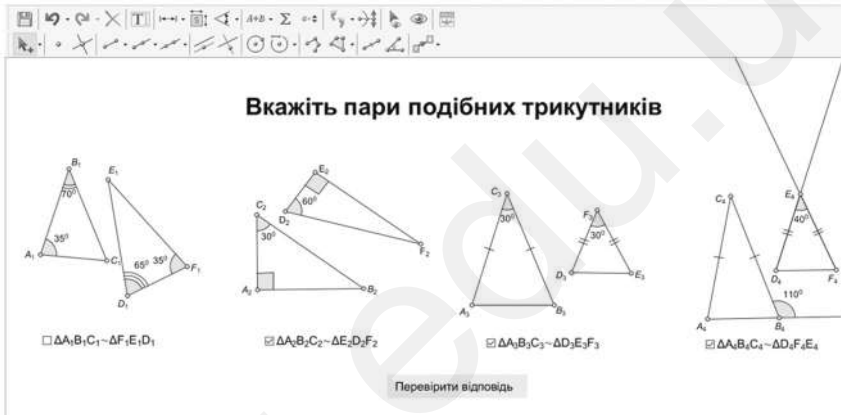


Рис. 1.3.3. Автоматизована перевірка у вигляді тесту в MathKit

Інший інструмент — «Поле вводу відповіді» — дає змогу створити поле для відповіді, що вводиться з клавіатури. Такий інструмент є аналогом тесту з відкритою формою відповіді.

При використанні інструмента для створення тестового завдання на екрані одночасно з'являється поле для введення результату та вікно властивостей кнопки, де замість червоного тексту потрібно прописати варіанти правильних відповідей (за замовчуванням їх кількість дорівнює трьом, її можна збільшити).

**Приклад 4.** Точка  $A$  розташована на додатній частині осі абсцис, а точка  $C$  — на додатній частині осі ординат. Побудувати прямокутник  $OABC$  і його діагоналі. Визначити координати вершин прямокутника  $OABC$  та точки  $D$  перетину діагоналей, якщо довжина сторони  $OA$  дорівнює 18, а довжина сторони  $OC$  дорівнює 6.

Технічно створення такого типу завдань для організації контролю не є складним, але вимагає прискіпливої уваги до врахування усіх можливих варіантів уведення відповіді — порядок чисел, формат чисел, регістр літер, використання розділових знаків тощо (рис. 1.3.4).

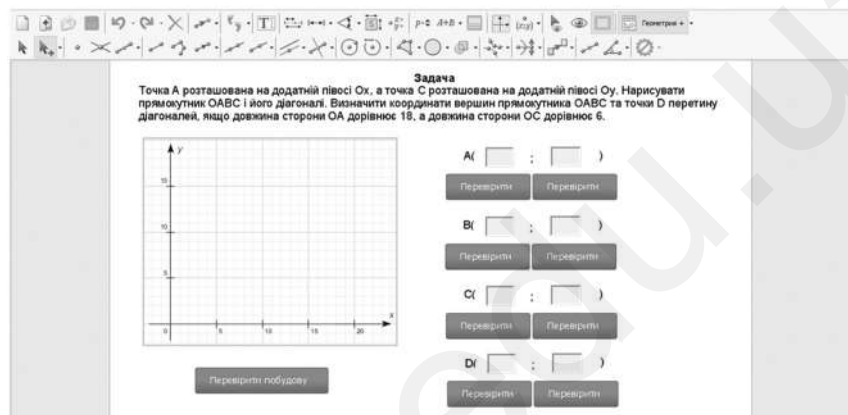


Рис. 1.3.4. Організація перевірки відповіді у MathKit

Використання інструмента «Перевірити відповідь» програми «MathKit» дає можливість автоматизувати перевірку логіки міркувань при розв'язуванні математичної задачі, чого не передбачено в інших програмних засобах математичного спрямування. Щоб організувати автоматизований контроль математичних знань, потрібно здійснити побудову чи розрахунки, потім виділити об'єкти, які є відповіддю на задачу, і зафіксувати кнопку «Перевірити відповідь». Після цього усі проміжні побудови та результати приховуються, а залишається тільки умова і створена кнопка. Зауважимо, що розробниками програми передбачено можливість редагування скриптів використання кнопок.

Вчитель / викладач, пропонуючи розв'язати задачу в програмі «MathKit», де передбачена кнопка «Перевірити відповідь», може одразу перевірити правильність відповіді й при цьому не витратити час на розуміння методів розв'язування, яких може бути не один.

### Приклад 5. Побудувати кут, синус якого дорівнює $3/5$ (рис. 1.3.5).

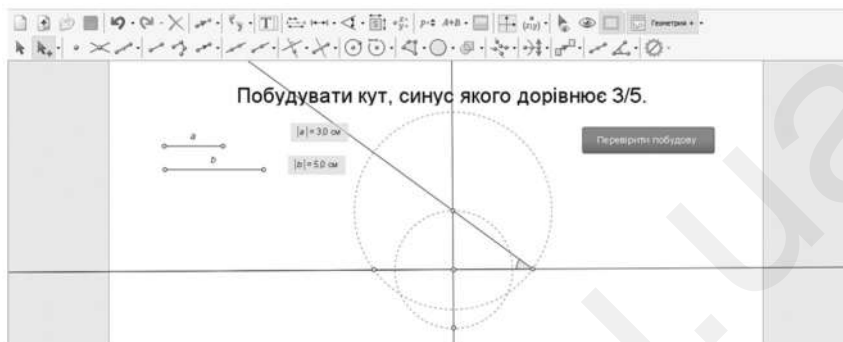


Рис. 1.3.5. Автоматизована перевірка правильності побудови в *MathKit*

Вивчення інструмента засвідчило його коректну роботу за тієї умови, що об'єктом перевірки є точка, пряма, відрізок тощо (базовий геометричний об'єкт).

Для посилення самостійності при виконанні завдань розробниками *GeoGebra* передбачено режим *GeoGebra Exam*, призначений для обмеження доступу до окремих комп'ютерних інструментів (вибираються викладачем) і файлів, розміщених на комп'ютері, та заборони виходу в Інтернет (рис. 1.3.6).

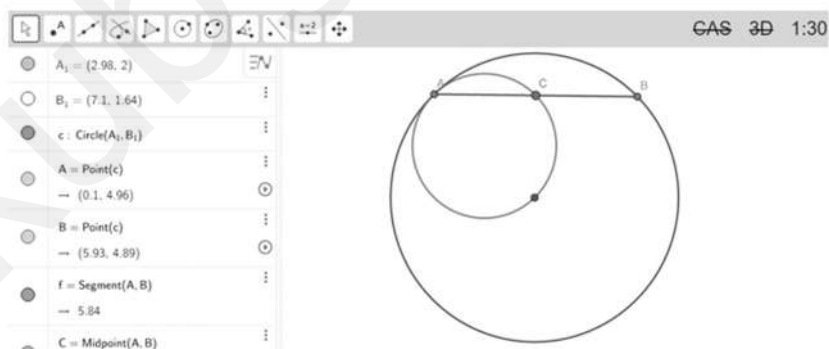


Рис. 1.3.6. Режим *GeoGebra Exam*

Режим не автоматизує контроль за навчальними досягненнями, але фіксацією дій у спеціальному журналі підтверджує / спростовує самостійність виконання завдань. У журналі зазначаються: дата і час початку виконання завдання, встановлені налаштування, вихід з повноекранного режиму, якщо такий мав місце, та повернення до нього, час завершення роботи.

По завершенні екзамену можна побачити деталі його проходження у журналі (рис. 1.3.7) — задача розв'язана за 4,26 хв.

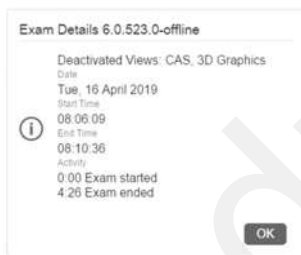


Рис. 1.3.7. Журнал виконання завдання в режимі *GeoGebra Exam*

Результати проведеного дослідження були піддані статистичному аналізу. Нами вивчалася доцільність використання описаних шляхів автоматизації контролю з двох позицій: оцінка середніх для порівняння часу, витраченого на традиційні й автоматизовані форми контролю (критерій Стьюдента), та чи впливає вибрана форма контролю математичних знань на розподіл результатів навчання.

Це уможливило виявлення таких тенденцій:

- 1) перевірка математичних знань за другою формою (з використанням ПДМ) більш швидка;
- 2) перевірка математичних знань за другою формою дає меншу кількість успішних оцінок.

Це означає, що форма контролю суттєво впливає на розподіл студентів за рівнями навчальних досягнень — при виконанні письмових робіт успішність студентів вища, ніж при комп'ютерній перевірці знань на базі ПДМ.

**Третій напрям наукового дослідження** — реалізації фахової підготовки майбутніх учителів математики та інформатики в умовах соціального дистанціювання. Це дослідження частково

реалізоване В. Прошкіним спільно з Л. Хоружою [6]. Експериментальною базою дослідження став Київський університет імені Бориса Грінченка (Україна). Усього в дослідженні взяли участь 153 викладачі й 220 студентів різних факультетів та інститутів університету. Зазначимо, що в опитуванні брали участь студенти спеціальностей «Математика», «Комп'ютерні науки», «Середня освіта (математика)», викладачі кафедри комп'ютерних наук і математики, кафедри природничо-математичної освіти і технологій тощо. Опитування викладачів і студентів було проведено протягом 26.06 — 03.07.2020 р.

По-перше, ми з'ясували, як викладачі оцінюють якість дистанційного навчання на період дії карантину, а також порівняли їхні погляди з думками студентів (рис. 1.3.8а–1.3.8б).

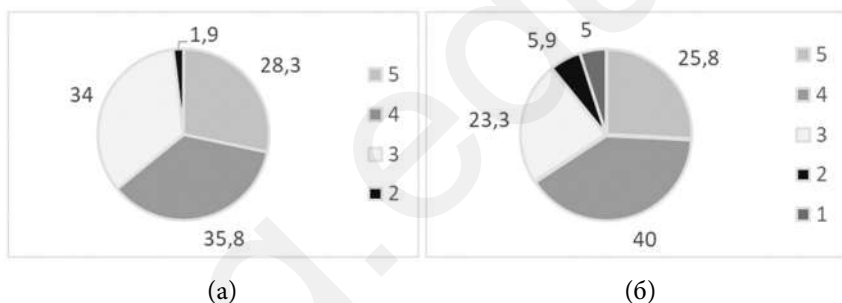


Рис. 1.3.8. Оцінка якості дистанційного навчання (%):  
а) — викладачами; б) — студентами

Як свідчать результати дослідження, викладачі та студенти приблизно однаково оцінюють якість дистанційного навчання, що було підтверджено критерієм Фішера  $\Phi^*$ . Отримано,  $\Phi_{\text{емп}}^* = 0,247$ ,  $\Phi_{\text{кр}}^* = \begin{cases} 1,64, & p \leq 0,05 \\ 2,31, & p \leq 0,01 \end{cases}$ . Разом із тим кожен десятий студент оцінює якість дистанційного навчання вкрай негативно (на 2 і 1 бали). Лише 1,9 % викладачів оцінюють якість дистанційного навчання неприпустимо низько (на 2 бали).

Далі ми з'ясували самооцінку рівня сформованості цифрової компетентності викладачів і студентів (рис. 1.3.9а–1.3.9б).





Рис. 1.3.9. Оцінка рівня цифрової компетентності (%):  
а) — викладачами; б) — студентами

Відповідно до критерію Фішера  $\varphi^*$ ,  $\varphi_{\text{емп}}^* = 0,771$ ,  
 $\varphi_{\text{кр}}^* = \begin{cases} 1,64, & p \leq 0,05 \\ 2,31, & p \leq 0,01 \end{cases}$ , отже, приймаємо гіпотезу  $H_0$ , яка стверджує,

що студенти та викладачі однаково оцінюють рівень розвитку власних цифрових компетентностей. Як бачимо, як студенти (80,8 %), так і викладачі (84,9 %) вважають, що рівень їхньої цифрової компетентності достатній для забезпечення освітнього процесу. Крім того, більше половини студентів (52,5 %) стверджує, що має найвищий рівень розвитку цифрових компетентностей для реалізації завдань освітнього процесу. Викладачі, на відміну від студентів, менш впевнені у власних цифрових здібностях — лише 39,6 % респондентів оцінюють рівень власних цифрових компетентностей найвищим балом. Водночас 5,9 % студентів вважає, що їхній рівень розвитку цифрових компетентностей не дає змоги їм розв'язувати завдання освітнього процесу.

Слід зазначити, що отримані нами дані перегукуються з результатами дослідження, наведеними Міністерством цифрової трансформації України за методологією оцінки цифрових навичок, що була запропонована Європейською комісією. Так, 37,9 % українців у віці 18–70 років має цифрові навички на рівні нижче середнього, ще 15,1 % взагалі не володіє ними [7].

Проблема сформованості у викладачів на недостатньо високому рівні цифрової компетентності яскраво проявилася в умовах

соціального дистанціювання (па період дії карантину), коли всі педагоги, навіть опоненти е-навчання, масово звернулися до цифрових технологій. Разом із тим, як засвідчила практика, для більшості із них уміння застосовувати цифрові технології є вкрай обмеженими. Зазвичай викладачі на період дії карантину використовували безкоштовну відкриту систему управління навчанням Moodle, а також різні програми для організації відеоконференцій (Hangouts Meet, Skype, Webex, Google Classroom, Zoom). До речі, у процесі опитування було встановлено, що найбільш популярними програмами як серед студентів, так і викладачів є Hangouts Meet, Zoom. На нашу думку, це пов'язано з перевагами цих програм, серед яких виділимо найголовніші:

- значна кількість учасників у безкоштовному пакеті (до 250 осіб);

- доступний вибір платформ (Android, iOS, браузері “Chrome”, “Mozilla”, “Firefox”, “Apple”, “Safari”, “Microsoft Internet Explorer”, “Microsoft Edge”);

- широкі можливості для приєднання (через браузер, мобільний додаток, Google-календар, за допомогою URL або коду зустрічі тощо);

- можливість запису відеозустрічі, демонстрації документів та вікон програми, перегляду контенту з високою роздільною здатністю, підтримка масштабування в мобільному додатку тощо.

Зазначимо також, що недостатній рівень розвитку цифрової компетентності у частини викладачів виявив їхню слабку спроможність максимально наближати дистанційне навчання до звичного аудиторного. Ситуацію, що склалася, ми пов'язуємо з обмеженістю їхніх умінь щодо використання таких засобів цифрових технологій, які можуть забезпечити ефективну імітацію очної форми навчання. До них зараховуємо віртуальні цифрові (інтерактивні) дошки (whiteboard), програми для створення тестових завдань, програми для планування спільної роботи та пошуку напрямів вирішення навчальних проблем, програми для розроблення інтелектуальних карт, представлення класифікацій, ідей, структур тощо.

Окреслена проблема перегукується з питанням наявного освітнього контенту, яке було розкрито в межах дослідження [8]. Слід зазначити, що вимушений карантин 2020 р. спонукав всю освітню

спільноту, зокрема математичну, до активного розроблення сучасного освітнього контенту. Завдяки спільним зусиллям Офісу Президента України, Міністерства освіти і науки України, Комітету Верховної Ради України з питань освіти, науки та інновацій, громадської спілки «Освіторія», а також 40 педагогів країни для учнів 5–11 кл. стартував проєкт «Всеукраїнська школа онлайн». Основною метою проєкту стало створення для кожного українського учня, незалежно від місця проживання, ресурсів та можливості підтримати зв'язок зі своїми вчителями, отримати доступ до знань.

На сайтах МОН України та Інституту модернізації змісту освіти МОН України подано підручники для 1–11 кл. в електронному вигляді з можливістю завантаження. Міністерством і Комітетом цифрової трансформації України створено освітній серіал «Інтерактивне навчання: інструменти та технології для цікавих уроків».

Особливий інтерес мають платформи масових відкритих онлайн-курсів та сайти з навчально-методичним і дидактичним матеріалом. Це, зокрема, Prometheus — один із найбільших проєктів безкоштовної освіти в Україні, на якому з-поміж іншого подано курси для підвищення кваліфікації учителів та підготовки до ЗНО. Coursera — портал, що містить онлайн-курси з різних дисциплін, у разі успішного закінчення яких користувач отримує сертифікат про проходження курсу. EdEra — студія онлайн-освіти. На сайті подано онлайн-курси, спецпроєкти, інтерактивні підручники та освітні блоги. iLearn — проєкт, створений командою громадської спілки «Освіторія», що пропонує вебінари, тести, навчальні курси. «На урок» — освітній проєкт, що містить розробки уроків, конспекти уроків, тести, методичні рекомендації, матеріали для позакласної роботи тощо. «Всеосвіта» — освітній проєкт, який пропонує онлайн-курси, вебінари, навчальні матеріали тощо. «Цікава наука» — YouTube-канал, що містить переклад й озвучення науково-популярних та освітніх відео на різні наукові теми з фізики, астрономії, біології, географії та математики. «Мій клас» — портал, що пропонує понад 7000 завдань з 6 навчальних предметів, теоретичний матеріал, завдання. «UROK-UA» — освітній портал, на якому розміщено навчально-методичні матеріали з усіх шкільних предметів для вчителів, зокрема підручники, навчальні посібники, методичні рекомендації, збірники завдань, конспекти уроків, пре-

зентації, дидактичний матеріал. “MozaBook” — інтерактивний програмний комплекс, що урізноманітнює інструментарій шкільних уроків ілюстраційними, анімаційними та творчими презентаціями. Комплекс платний для використання, але є можливість завантажити 30-денну безкоштовну DEMO-версію і спробувати всі функції програми.

Варто виділити також каталог електронних освітніх ресурсів Київського університету імені Бориса Грінченка ([urok.ippo.kubg.edu.ua](http://urok.ippo.kubg.edu.ua)) — каталог електронних освітніх ресурсів містить розробки презентацій, відео, конспектів до уроків, що створюються вчителями шкіл та розміщуються на сайті.

Загалом у результаті бесід з викладачами, які здійснюють фахову підготовку майбутніх учителів математики та інформатики, нами було розроблено таку класифікацію вебресурсів, що пропонують освітній контент з математики та інформатики.

1. Освітні вебресурси для аудиторної роботи з майбутніми учителями математики та інформатики:

— хостинги для зберігання медіафайлів (YouTube, Lectr.Com та ін.);

— системи створення й зберігання навчальних матеріалів (карти знань (пам’яті), інфографіка, інтерактивні кросворди, тестові середовища (LearningApps, Gloster, Merlot II та ін.), онлайн-сервіси для створення й зберігання презентацій, зокрема із застосуванням скрайбінгу (Prezi, Moovly, PowToon);

— системи спільного створення різноманітних документів, орієнтовані на організацію спільної роботи з текстовими, табличними документами, презентаціями тощо (Google-документи і таблиці, Google-календар, Google-групи тощо);

2. Освітні вебресурси для самостійної й позааудиторної роботи майбутніх учителів математики та інформатики:

— вебресурси для організації проєктної діяльності майбутніх учителів (<http://wave.google.com>; <http://myhappyplanet.com>; <http://www.busuu.com>);

— системи дистанційного навчання (наприклад, <https://elearning.kubg.edu.ua>);

— системи віртуального спілкування (Вікі-технологія, вебтрєнінг, вебконференція, вебінар, вебфорум, блог, чат).

3. Освітні вебресурси для науково-дослідної роботи майбутніх учителів математики та інформатики:

1) інституційний репозиторій (репозиторії Інституту прикладної математики і механіки НАН України, Інституту математики НАН України, Інституту прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача НАН України, Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Інституту проблем штучного інтелекту МОН та НАН України й навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та ін.);

2) електронна бібліотека (Бібліотека Інституту математики НАН України), Національний музей математики США, музей математики «Сад Архімеда» (Італія) тощо;

3) електронне періодичне наукове видання (наукові фахові видання категорії «А» МОН України: “Algebra and Discrete Mathematics”, “Methods of Functional Analysis and Topology”, “Theory of Stochastic Processes”, «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії», “Information Technologies and Learning Tools”, “Carpathian Mathematical Publications”, “Mathematical Modeling and Computing”, “Journal of Mathematical Sciences”, “Ukrainian Mathematical Journal”, “Radio Electronics, Computer Science, Control”).

Слід зазначити, що особливе значення для реалізації дистанційного навчання мають електронні навчальні курси (ЕНК). Як зазначає Н. Морзе, ЕНК — це комплекс навчально-методичних матеріалів та освітніх послуг, створених для організації індивідуального й групового навчання з використанням технологій дистанційного навчання, що реалізується засобами ІКТ, у якому навчальний матеріал подається у структурованому вигляді [9]. Зазначимо, що метою використання ЕНК є надання учасникам освітнього процесу послуг шляхом застосування ІКТ та інноваційних технологій відповідно до наявних стандартів, програм тощо.

У результаті бесід з викладачами нами узагальнено основні переваги використання ЕНК, зокрема: розширення можливостей доступу різних категорій учасників освітнього процесу до навчального контенту; забезпечення індивідуалізації освітнього процесу;

підвищення якості освітнього процесу; реалізація моніторингу якості освіти.

Слід зазначити, що ЕНК бвають двох типів: ресурси, призначені для подання студентам змісту навчального матеріалу (наприклад, конспекти лекцій, мультимедійні презентації лекцій, аудіо- та відео-матеріали, методичні рекомендації тощо); ресурси для закріплення вивченого матеріалу, набуття професійних та загальних компетентностей, самооцінювання навчальних досягнень (завдання, тестування, анкетування, форуми тощо), у тому числі з використанням технологій Веб 2.0, Веб 3.0 [10].

Уважаючи, що ЕНК стали фактично найважливішим засобом реалізації дистанційного навчання протягом 2020 р., ми попросили викладачів і студентів оцінити якість ЕНК (рис. 1.3.10а–1.3.10б).

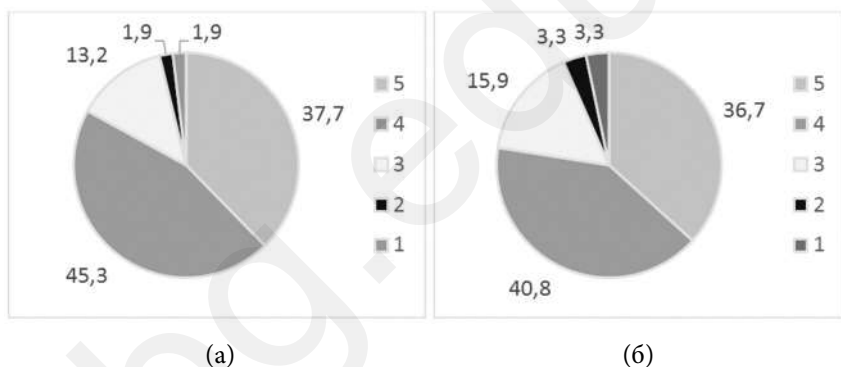


Рис. 1.3.10. Оцінка якості ЕНК (%):

а) — викладачами; б) — студентами

Як бачимо, студенти та викладачі у цілому однаково оцінюють якість ЕНК. Разом із тим 17,0 % викладачів вважає якість ЕНК доволі низькою. Крім того, кожного п'ятого студента (22,5 %) взагалі не задовольняє якість ЕНК.

Критичне ставлення до якості ЕНК спонукає нас звернути увагу на загальні проблеми дистанційного навчання. Для цього викладачам і студентам запропоновано здійснити ранжування наявних проблем за таким принципом: 1 — найбільш вагома проблема, 5 — найменш вагома проблема (табл. 1.3.3).

Таблиця 1.3.3

СТАВЛЕННЯ ВИКЛАДАЧІВ І СТУДЕНТІВ  
ДО ПРОБЛЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Проблеми	Викладачі	Студенти
Брак формування практичних навичок	1	2
Міжособистісна комунікація	2	4
Перевантаженість завданнями	3	1
Слабке врахування рівня наявних знань студентів з дисципліни	4	3
Несвоечасність перевірки виконаних завдань та їх оцінювання	5	5

За  $U$ -критерієм Манні — Уїтні отримано  $U_{\text{емп}} = 12,5$ ,  
 $U_{\text{кр}} = \begin{cases} 4, & p \leq 0,05 \\ 1, & p \leq 0,01 \end{cases}$ , отже, приймаємо гіпотезу  $H_0$ , яка стверджує, що студенти та викладачі у цілому однаково оцінюють проблеми дистанційного навчання.

Окреслимо певні тенденції:

— як для викладачів, так і для студентів актуальною є проблема слабкої можливості дистанційного навчання для формування практичних навичок;

— студенти і викладачі однаково впевнені, що несвоечасність перевірки виконаних завдань та їх оцінювання не є найвагомішою проблемою дистанційного навчання;

— викладачі вважають міжособистісну комунікацію запорукою реалізації якісного навчання. На думку мобільного «комп'ютеризованого» молодого покоління, слабка міжособистісна комунікація при реалізації дистанційного навчання не є вагомою проблемою;

— дистанційне навчання окреслило ще одну суттєву проблему — надмірна перевантаженість студентів завданнями. Як свідчить практика, викладачі не завжди враховують наявні можливості студентів для опанування навчального матеріалу: час для самостійного вивчення матеріалу та виконання завдань, різний рівень підготовленості студентів (у т. ч. психологічної) та ін.

Цікаво також було дослідити переваги дистанційного навчання (табл. 1.3.4).

Таблиця 1.3.4

СТАВЛЕННЯ ВИКЛАДАЧІВ І СТУДЕНТІВ  
ДО ПЕРЕВАГ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Переваги	Викладачі	Студенти
Об'єктивність та неупередженість	1	4
Створення умов для реалізації самостійної роботи студентів	2	1
Самоменеджмент освітньої (професійної) діяльності	3	3
Варіативність освітніх ресурсів	4	5
Однакові умови для всіх	5	2

Так само, як і при аналізі попереднього питання, за допомогою U-критерію Манні — Уїтні отримано  $U_{\text{емп}} = 12,5$ , приймаємо гіпотезу  $H_0$ , яка стверджує, що студенти та викладачі в цілому однаково оцінюють переваги дистанційного навчання. Однак наявні певні закономірності:

— як викладачі, так і студенти вважають, що дистанційне навчання надає можливості для реалізації самостійної навчальної роботи студентів;

— респонденти однаково ставляться до такої переваги дистанційного навчання як самоменеджмент освітньої (професійної діяльності);

— викладачі й студенти суголосні в тому, що варіативність освітніх ресурсів не є найголовнішим чинником якості освітнього процесу;

— на об'єктивність та неупередженість більше звертають увагу викладачі;

— реалізація навчання на засадах однакових умов для всіх найбільш значуща для студентів.

Реалізація дослідження дає змогу дійти таких висновків.



1. Обґрунтовано доцільність використання програм “Maple”, “Mathematica”, “Maxima”, GSP, “GeoGebra”, “GRAN”, DG та ін. у контексті потужності інструментарію, кола завдань, вільного поширення, оновлення тощо. Визначено 19 комп’ютерних інструментів, що закладено в програми динамічної математики (калькулятор, побудова точки, прямої, променя, відрізка, кола, побудова середини відрізка, бісектриси тощо). Здійснено аналіз методичного інструментарію програм динамічної математики (покрокова анімація, створення власних інструментів, установлення позначок на об’єкті тощо). Окреслено перелік актуальних проблем учителів математики та інформатики при використанні спеціалізованого програмного забезпечення. Наведено можливі шляхи вирішення.

2. Аналіз комп’ютерного інструментарію ПДМ MathKit, GeoGebra (програми вибрані як найбільш популярні за результатами опитування майбутніх учителів математики і вчителів-практиків) дав змогу визначити шляхи автоматизації контролю математичних знань: безпосередня перевірка цілісності конструкції; покрокова демонстрація розв’язання; використання спеціальних інструментів контролю на базі програм динамічної математики. Установлено, що форма контролю суттєво впливає на розподіл студентів за рівнями навчальних досягнень — при виконанні письмових робіт успішність студентів вища, ніж при комп’ютерній перевірці знань на базі програм динамічної математики.

3. Аналіз освітянської практики в умовах соціального дистанціювання дає змогу стверджувати, що змішане навчання є найбільш оптимальним форматом реалізації сучасного освітнього процесу (про це висловилося 52,8 % викладачів і 45,0 % студентів). Викладачам більше притаманний консервативний дух — вони підтримують традиційний формат, при якому аудиторне навчання перевищує дистанційне. Для студентів більш зручною є перевага дистанційного навчання над аудиторним. Як викладачі, так і студенти вважають, що суто дистанційне навчання не є ефективним. На думку викладачів, навчання варто реалізовувати тільки в аудиторії. Здійснення виключно аудиторного навчання підтримує кожен десятий студент.

До перспектив дальших наукових пошуків зараховуємо організацію самостійної роботи майбутніх учителів математики та інформатики засобами цифрових технологій.

## ДЖЕРЕЛА

1. Національний звіт за результатами міжнародного дослідження якості освіти PISA-2018 / кол. авт.: М. Мазорчук (осн. автор), Т. Вакуленко, В. Терещенко, Г. Бичко, К. Шумова, С. Раков, В. Горох та ін.; Український центр оцінювання якості освіти. К.: УЦОЯО, 2019. 439 с.

2. Годованюк Т.Л. Методична підготовка майбутніх учителів математики: теорія і практика: монографія. Умань: Сочінський М.М. 2019. 316 с.

3. Council Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning. (2018). URL : [http://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/council-recommendation-on-key-competences-for-lifelong-learning\\_en](http://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/council-recommendation-on-key-competences-for-lifelong-learning_en) (accessed: 28.08.2020).

4. Цифрова трансформація відкритих освітніх середовищ: колективна монографія / [колектив авторів]; за ред. В.Ю. Бикова, О.П. Пінчук. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 186 с.

5. Семеніхіна О.В., Прошкін В.В. Застосування комп'ютерних математичних інструментів у процесі професійної підготовки майбутніх учителів математики. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. № 4. С. 61–73.

6. Khoruzha L., Proshkin V. Determining the readiness of teachers and students for distance learning and further prospects for its development. *Theoretical and Practical Aspects of Distance Learning. DLCC2020*. 2020 (прийнято до друку).

7. Міністерство цифрової трансформації. Цифрова грамотність населення України 2019. URL: [https://osvita.diaa.gov.ua/uploads/0/585-cifrova\\_gramotnist\\_naselenna\\_ukraini\\_2019\\_compressed.pdf](https://osvita.diaa.gov.ua/uploads/0/585-cifrova_gramotnist_naselenna_ukraini_2019_compressed.pdf) (дата звернення: 10.11.2020).

8. Організація освітнього процесу в школах України в умовах карантину: аналітична записка / [Л. Гриневич, Л. Ільч, Н. Морзе, В. Прошкін, І. Шемелинець, К. Линьов, Г. Рій]. К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2020. 76 с.

9. Дзябенко О., Морзе Н., Василенко С., Варченко-Троценко Л., Вембер В., Бойко М., Воротникова І., Смірнова-Трибульська Є. Інноваційні педагогічні методика в цифрову епоху. К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2020. 261 с.

10. Положення про ЕНК: порядок створення, сертифікації та використання у системі е-навчання Київського університету імені Бориса Грінченка. URL: [https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vdd/documenty/rozdil\\_7/nakaz\\_318\\_08.05.19.pdf](https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vdd/documenty/rozdil_7/nakaz_318_08.05.19.pdf) (дата звернення: 12.09.2020).

## 1.4. МЕТОДИЧНА МОДЕЛЬ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАВЧАННЯ ІНФОРМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

**Дмитро Бодненко, Галина Кучаковська,  
Милана Сабліна**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

Аналіз суспільної практики свідчить про те, що Україна перебуває в процесі постійної перебудови політичної, економічної, соціальної галузей, які координують зміни національних пріоритетів і впливають на інноваційний розвиток освіти. Досвід розвинених країн засвідчує, що перспективним вирішенням зазначених проблем є розбудова інноваційної школи на засадах впровадження інноваційних технологій в освітній процес. Одним із передових напрямів розбудови інноваційного освітнього процесу є використання хмаро орієнтованих технологій навчання.

Проблема імплементації хмаро орієнтованих технологій в освітній процес закладів вищої освіти наразі набуває актуальності у зв'язку з реалізацією Закону України «Про вищу освіту» (2014) та Національної стратегії розвитку освіти України на період до 2031 року. У цих документах наголошується на необхідності спрямувати діяльність педагогічних працівників на пошук нових моделей організації навчання та формування безпечного освітнього середовища; створити інформаційну систему підтримки освітнього процесу, спрямовану на здійснення її основних функцій; забезпечити освітній процес засобами інформаційно-комунікаційних технологій, а також доступу закладів освіти до глобальних інформаційних ресурсів.

Хмаро орієнтовані технології (ХОТ) досліджує багато вчених, серед яких значний вклад зробили: В.Ю. Биков, Н.В. Морзе, О.Г. Кузьмінська, О.М. Спирін, М.П. Шишкіна та ін. Проблематика використання таких технологій в освітньому процесі всіх рівнів висвітлена у працях Т.В. Вакалюк, Г.А. Алесаняна, М.В. Попель, О.В., Співаковського, А.М. Куха та ін. Всі вчені зазначають, що хмаро орієнтовані технології є одним із пріоритетних та рушійних механізмів для ре-

алізації в повному обсязі ідеї інформаційного суспільства, а також здійснюють значний вплив на форми, методи та зміст освітньої діяльності всіх закладів освіти України та світу в цілому.

Наприклад, у роботі [1] подано теоретичне і практичне розв'язання проблеми ефективності організації науково-дослідної роботи студентів засобами хмаро орієнтованих технологій. Обґрунтовано використання засобів хмаро орієнтованих технологій на основі моделі SaaS при організації науково-дослідної роботи студентів, наведено приклади застосування інтернет-ресурсів на різних її етапах. Представлено результати педагогічного експерименту, що підтверджують ефективність впровадження форм і методів науково-дослідної роботи студентів із застосуванням хмаро орієнтованих технологій.

Робота [2] присвячена актуальним проблемам розвитку досліджень з питань впровадження засобів і сервісів хмарних технологій у навчальний процес, сформовано поняття хмаро орієнтованого середовища закладу освіти, виокремлено основні етапи його формування. Схарактеризовано сучасний стан розвитку і використання сервісів хмарних технологій у закладах освіти. Здійснено аналіз змістового наповнення освітнього й наукового компонентів хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища. Окреслено тенденції поширення засобів хмарних технологій у навчальних закладах, виокремлено перспективні напрями психолого-педагогічних досліджень.

У статті [3] висвітлено результати теоретичних і експериментальних досліджень проблем проектування, впровадження і використання відкритого хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища закладу вищої освіти, що проводилися в Інституті інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України протягом 2011–2019 рр. Висвітлено науково-методичні засади дослідження, поняттєво-термінологічний апарат, окреслено методологічні принципи проектування середовища, обґрунтовано загальну модель та методичну систему його формування і розвитку. У моделі відображено особливості процесу створення і розвитку середовища, що спрямований на досягнення цілей педагогічної системи, серед яких — формування ІКТ-компетентного фахівця; розширення доступу до ІКТ; використання в освіті й наукових дослідженнях найсучасніших засобів і технологій. Методична система охоплює низку методик, що об'єднані системоутворювальним чинником, яким є хмаро орієнтований підхід, що спирається

на відповідні базові характеристики і сервісні моделі. До складу методичної системи входять: методика використання науково-навчальної хмари наукової / освітньої установи, що спрямована на поліпшення організації і підвищення ефективності наукових досліджень, упровадження їх результатів; методики використання хмаро орієнтованих компонентів навчального призначення на базі гібридної хмари AWS, а також спеціалізованих предметно орієнтованих сервісів. Схарактеризовано шляхи добору методик на базі запропонованої моделі в педагогічних системах закладу вищої освіти, визначено перспективи їх застосування. Здійснено аналіз й оцінку досвіду впровадження і використання окремих сервісів та компонентів хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища у закладах вищої освіти України. Наведено результати експериментальних досліджень використання сервісів хмаро орієнтованого середовища в процесі навчання наукових, науково-педагогічних, педагогічних кадрів. Проведено аналіз й оцінку перспектив розвитку хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища на підставі запропонованих підходів.

У роботі [4] здійснено аналіз актуальних досліджень щодо впровадження технології дистанційного навчання, який засвідчив, що дослідники надають перевагу асинхронному режиму дистанційної освіти. Описано дидактичні можливості хмарних сервісів LearningApps, StudyStack, EDpuzzle, Kahoot, Quizizz, які були апробовані під час організації дистанційного навчання. Здійснено порівняння технічних та дидактичних можливостей зазначених хмарних сервісів. Виокремлено методичні поради щодо ефективної організації освітнього процесу в умовах дистанційного навчання.

У роботі О.Д. Гаврилук [5] викладено порівняльний аналіз хмаро орієнтованих технологій навчання для підготовки бакалаврів на предмет доцільності використання в освітньому процесі. Сформульовано пакет додатків для підвищення рівня обізнаності студентів. У роботі [6] означеного автора наведено понятійно-термінологічний апарат хмаро орієнтованих технологій, переваги хмарного середовища як інструмента надання ресурсів, програмного забезпечення та масштабованості під конкретного користувача.

Попит на хмарні технології навчання тільки зростає. Дійсно, за даними звіту Міжнародного союзу електрозв'язку, з 2005 р. інтернет-охоплення у світі зросло з 17 % до 53 %, 2019 р. близько 4,1 млрд

людей у світі користувалось інтернетом (рис. 1.4.1). Щороку тенденція зростання користувачів збільшується на 10 % [7].

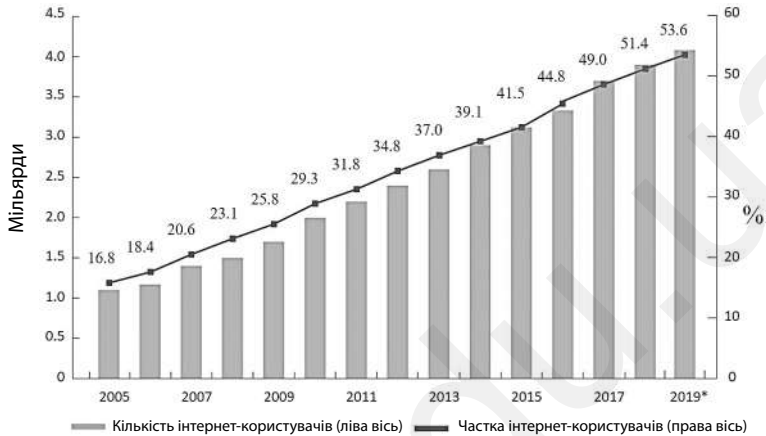


Рис. 1.4.1. Тенденція зростання користувачів інтернету за даними Міжнародного союзу електрозв'язку ([www.itu.int](http://www.itu.int))

Поряд зі збільшенням кількості користувачів мережі «Інтернет» у світі спостерігається також значне зростання онлайн активності користувачів. Так, за даними дослідження [8], найпопулярнішими видами активності були та залишаються е-mail, використання соціальних мереж та запитів на отримання інформації, тобто навчання (рис. 1.4.2).

Сучасний стан імплементації хмаро орієнтованих технологій в освітній процес вищої школи моделює проблему організації освітньої та науково-дослідної роботи студентів, зокрема у процесі вивчення інформатичних дисциплін. Постає на часі не лише аналіз запровадження хмаро орієнтованих технологій у процес викладання дисциплін інформатичного профілю, але й прогнозування дальшої стратегії створення і використання названих засобів в освітньому процесі.

Сучасні студенти, як представники покоління «Z» та міленіалів, потребують додаткових стимулів для відвідування університету та здобуття знань. Для них є важливим, як отримані знання та набуті навички знадобляться їм у подальшій діяльності. Проблемне навчання на дослідницькій основі у закладах вищої освіти може розв'язати

це питання. Лекції, практичні та семінарські заняття мають нести проблемний характер та вмщувати завдання, пов'язані з реальними потребами ринку праці, аби після закінчення ЗВО випускник міг використати здобуті знання та навички при працевлаштуванні.

### Тенденції активності користувачів в Інтернет-мережі



Рис. 1.4.2. Активності користувачів у мережі «Інтернет» за 2017 р. за даними сайту [uk.vpnmentor.com](http://uk.vpnmentor.com)

У роботі розкрито варіант алгоритму реалізації професійної підготовки майбутнього фахівця у процесі вивчення інформатичних дисциплін із використання хмаро орієнтованих технологій навчання.

Завдання дослідження:

— описати модель організації освітньої діяльності та науково-дослідної роботи студентів під час навчання інформатичних дисциплін;

— розкрити алгоритм організації освітньої діяльності та науково-дослідної роботи студентів;

— окреслити рекомендації до структури та змісту електронних методичних матеріалів.

Експеримент, проведений у рамках виконання дослідження, охоплював студентів різних спеціальностей Київського університету імені Бориса Грінченка: історія, міжнародні відносини, журналістика, філологія, книгознавство та бібліотечна справа, реклама та зв'язки з громадськістю.

Хмаро орієнтовані технології навчання, особливо соціальні мережеві сервіси, відкривають широкі можливості для ефективного вивчення інформатичних дисциплін, що дають змогу використовувати вільні електронні ресурси в освітніх цілях, самостійно створювати мережевий контент, організовувати міжособистісні взаємодії суб'єктів освітнього процесу.

Відбір і використання хмаро орієнтованих технологій навчання у процесі вивчення інформатичних дисциплін має передбачати здійснення таких кроків:

— виявити дидактичні можливості та методичні функції хмаро орієнтованих технологій навчання;

— зіставити дидактичні можливості хмаро орієнтованих технологій навчання з новими освітніми результатами, на досягнення яких вони спрямовані;

— визначити організаційні форми навчання, у яких використання цих технологій реалізується найбільш ефективно.

Здійснюючи дослідження імплементації сервісів хмаро орієнтованих технологій, ми дійшли висновку про те, що їх можна класифікувати за низкою практичних завдань, які виконують під час освітнього процесу:

1) завдання, пов'язані з візуалізацією навчального матеріалу і результатів самостійної роботи;

2) завдання для організації колективної взаємодії та кооперативного навчання;

3) завдання, пов'язані з контролем та аналізом успішності студентів. Опишемо кожен пункт окремо.

*1. Практичні завдання, пов'язані з візуалізацією навчального матеріалу і результатів самостійної роботи.*

Важливим є представлення своєї діяльності, і вибір необхідного інструмента для цього стає першочерговим завданням. Студенти



мають разом створювати, редагувати та використовувати в мережі текстові документи, електронні таблиці, презентації тощо.

Правильне, доречне, легке візуальне оформлення допомагає швидко структурувати отриману інформацію та показати її оточуючим. Зрозуміло, що гарна візуалізація інформації досягається добром інструментарію. Звичний для всіх PowerPoint відходить на другий план, і популярності набирають новітні сервіси, такі як карти знань, стрічки часу, інтерактивні комікси.

Поняття «візуалізація інформації» з'явилося «внаслідок досліджень взаємодії людини і комп'ютера, комп'ютерних наук, графіків, дизайну, психології та бізнес-методів. Вона все частіше застосовується як найважливіший компонент у наукових дослідженнях [9].

Ураховуючи, що візуалізація даних є популярною, постає питання щодо доцільності її використання при вивченні інформатичних дисциплін у закладі вищої освіти.

На *рис. 1.4.3* наведено приклади стрічок часу, які розробили студенти спеціальності «Історія» для візуалізації історичних подій та життєвого шляху відомих діячів.



*Рис. 1.4.3.* Приклад використання стрічок часу для візуалізації історичних подій студентами спеціальності «Історія»

Одним із сучасних інструментів, спрямованих на ефективну візуальну презентацію інформації, є так звана MindMap (карта знань). MindMap широко використовується в бізнесі, рекламі, журналістиці. Вона є універсальним інструментом для поширення інформації та даних. Використовувати карти знань студенти можуть для підсумку отриманої інформації на лекційному занятті, генерації нових ідей та рішень, щоб структурувати курсову роботу, продемонструвати концепції та ідеї. На відміну від написаного чи продемонстрованого тексту, MindMap не тільки зберігає факти, але й демонструє взаємозв'язки між ними, тим самим забезпечуючи глибше розуміння поданої інформації.

*2. Практичні завдання, для організації колективної взаємодії та кооперативного навчання.*

Засоби реалізації різноманітних форм проведення навчальних занять (вебконкурси, інтерактивні ігри, вікторини) дають змогу організовувати опитування студентів і здійснювати рефлексію, розширюють можливості науково-дослідної роботи студентів, проведення консультування. Електронний освітній засіб нового типу допоможе забезпечити високий рівень сприйняття наочності освітнього процесу; збирати, зберігати, наносити на зображення інтерактивні мітки (текст, посилання, зображення, відео); підтримати групову роботу. На нашу думку, це можуть бути WikiWall, Glogster, PadLet, Linoit, Twidla, Trello, RealtimeBoard, Rizzoma. На *рис. 1.4.4* представлені приклади використання дощок на різних етапах проведення заняття.

Подані сервіси схожі за функціоналом, але мають свої особливості. Загалом можемо стверджувати, що використання сервісів віртуальних дощок спростовує комунікацію серед студентів та полегшує спільне обговорення, зокрема під час проектної діяльності в умовах дистанційного навчання. При організації рефлексії під час проведення лекції у студентів виокремлюються навички колаборації та комунікації; при організації візуального спостереження користувачі можуть переглядати дошки інших студентів, обговорювати та коментувати їх, що допомагає комунікувати користувачам як в окремо організованих групах при проектній роботі, так і загалом при організації кооперативного навчання.



Рис. 1.4.4. Варіанти дощок у сервісах WikiWall, RealtimeBoard (Miro), Linoit

### 3. Практичні завдання, пов'язані з контролем та аналізом успішності студентів.

Оскільки модернізація освітнього процесу потребує змін на всіх його етапах, можна стверджувати, що при організації контролю знань більшої популярності набуло саме тестування з використанням засобів соціальних мереж та сервісів. Шукаючи зручні сервіси для цього, ми зупинились на Google Forms, Instagram, Kahoot та англомовних — Quizalize, Nearpod (рис. 1.4.5).

Зручний та інтуїтивний інтерфейс цих сервісів дає змогу швидко створювати та редагувати завдання до модульних контрольних робіт, активізувати освітню діяльність студентів на парі, швидко отримувати відповіді, перевіряти їх правильність, оцінювати та візуалізувати результати у вигляді графіків і діаграм. Крос-платформність сервісів перетворювала їх на незамінний інструмент у використанні на різних девайсах та операційних системах.

Проводячи експеримент із використання хмарних сервісів та хмаро орієнтованих технологій в освітньому процесі навчання інформатичних дисциплін, ми вибрали за основу завдання впровадження ІКТ у закладі освіти.

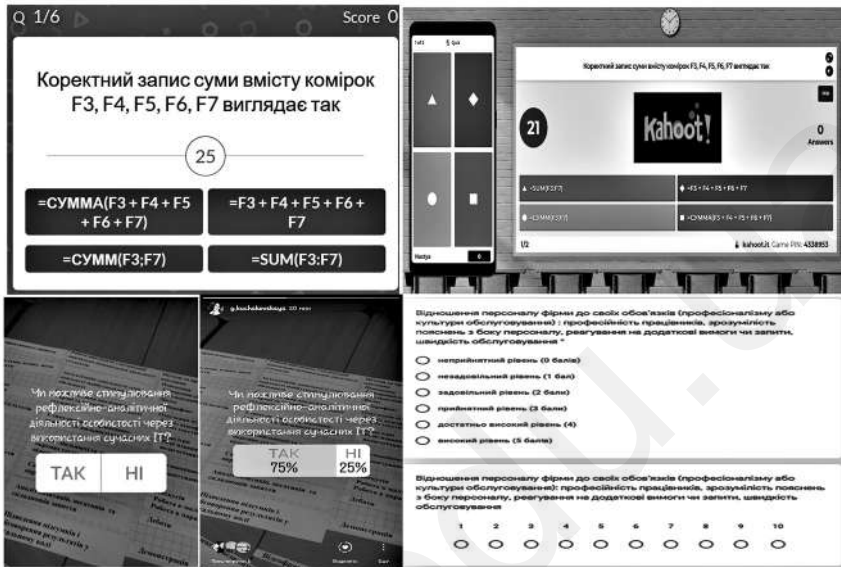


Рис. 1.4.5. Вигляди вікон тестувань у сервісах (зліва направо) Google Forms, Kahoot, Instagram, Quizize

Освіта України, орієнтуючись на європейські стандарти, поставила перед потребою переходу від застосування традиційних форм і методів навчання до втілення нових технологій в освіті. Це зумовлено тим, що основний контингент студентів не встигає за своїти навчальний курс протягом лекційних і семінарських годин, відведених у робочих програмах. Збільшення самостійної та індивідуальної частини роботи студентів вимагає від викладача впровадження нових технологій навчання, аби вони могли засвоїти необхідну інформацію.

Аналіз організації студентоцентрованого навчання на дослідницькій основі у вищих закладах освіти України свідчить про те, що впровадження нової (для українського освітнього простору) парадигми в навчальний процес має здебільшого фрагментарний, стихійний характер. Результати анкетування, проведеного серед викладачів навчальних закладів і користувачів мережі «Інтернет»

(<http://www.voxru.net/arc/internet/interobraz2.html>), продемонстрували зростання кількості студентів, які використовують під час навчання технології електронного навчання.

Використання хмаро орієнтованих технологій при викладанні інформатичних дисциплін потребує спеціальної й ретельної організації та мережної підготовки викладачів. В умовах імплементації науково-дослідної роботи студентів в освітній процес викладач-тьютор (викладач-фасилітатор) координує навчально-пізнавальний процес; активізує розвивальний потенціал навчання; визначає дидактичні цілі високого пізнавального рівня; домінує діалогічне спілкування зі студентами.

У рамках запровадження хмаро орієнтованих технологій у професійну підготовку фахівців було взято за основу роботу з академічною групою. Основний контингент учасників, залучених до науково-дослідної діяльності, складають студенти гуманітарних спеціальностей, які вивчають інформатичні дисципліни. Докладніше роботу гуртка та його науково-дослідну функцію окреслено у статті автора [10], у якій розкрито поетапну реалізацію шляхом застосування моделі алгоритму «Організація науково-дослідної роботи студентів у процесі навчання інформатичних дисциплін». Експериментальна перевірка останньої (експеримент охоплює термін з 2008 р. й до сьогодні) і щосеместрова її апробація привела до розроблення методичної моделі «Використання хмаро орієнтованих технологій навчання інформатичних дисциплін у процесі професійної підготовки» (рис. 1.4.6). Вона описує покрыву роботу з академічною групою та / або членами науково гуртка «Використання ІКТ в освітньому процесі». Для досягнення поставлених завдань було зазначено терміни роботи над конкретним етапом у межах вивчення навчальної дисципліни — організація науково-дослідної і навчальної роботи студентів відбувалася під час самостійної роботи студентів у процесі вивчення інформатичних дисциплін (кількість кредитів на вивчення дисциплін варіюється в межах 1–4 кредитів). Для членів наукового гуртка можливе використання двох термінів: або протягом навчального року (вересень — червень), або протягом семестру (вересень — січень, лютий — червень).

Етапи моделі «Використання хмаро орієнтованих технологій навчання інформатичних дисциплін».

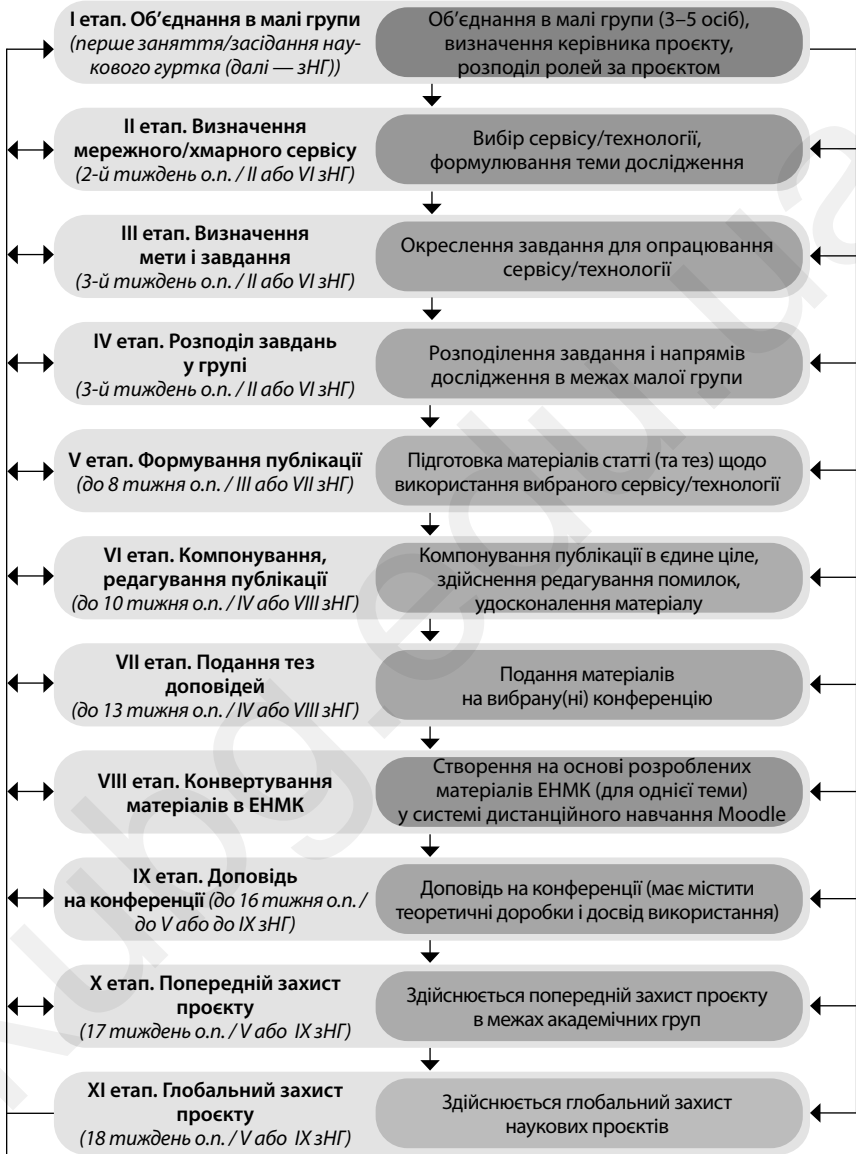


Рис. 1.4.6. Методична модель «Використання хмаро орієнтованих технологій навчання інформатичних дисциплін»

1. *Об'єднання в групи.* Створення груп по 3–5 осіб, визначення керівника проекту, розподіл ролей за проектом. Завданням кожної дослідницької групи: здійснювати дослідження на засадах співпраці; набути навичок гнучкості та готовності до застосування необхідних компромісів з метою виконання спільного завдання; брати відповідальність за результати спільної науково-дослідної роботи.

2. *Визначення мережного сервісу / хмарної технології.* Вибір сервісу / технології серед безкоштовних онлайн-ресурсів, формулювання теми дослідження. Слід зазначити, що важливою характеристикою вибору хмаро орієнтованих сервісів є їх безкоштовність, попит у користувачів мережі, доцільність застосування у професійній діяльності.

3. *Визначення мети і завдання.* Окреслення завдання для опрацювання сервісу / технології: аналіз історії становлення та сучасного стану вибраного сервісу, практика роботи в ньому, використання сервісу в майбутній професійній діяльності.

4. *Розподіл завдань у групі.* Розподілення завдання і напрямів дослідження в межах малої групи (згідно з вибраними та узгодженими завданнями).

5. *Формування публікації.* Підготовка матеріалів статті (та тез) щодо використання вибраного сервісу / технології (згідно із завданнями).

6. *Компонування, редагування публікації.* Компонування публікації в єдине ціле, редагування помилок, удосконалення матеріалу.

7. *Подання тез доповідей.* Подання матеріалів на вибрану(ні) конференцію (конкурси, семінари, круглі столи).

8. *Конвертування матеріалів в електронний навчально-методичний комплекс (ЕНМК).* Створення на основі розроблених матеріалів ЕНМК (для однієї теми) у системі дистанційного навчання Moodle. Електронний навчально-методичний комплекс має такі складові: теоретичну — лекція, сторінки з теоретичним матеріалом, допоміжні електронні освітні ресурси, глосарій; практичну — лабораторна / практична робота, методичні матеріали до виконання роботи (можливо, приклад виконання роботи); мультимедійну — презентація теорії, навчальний відеозапис виконання низки завдань у вибраному хмаро орієнтованому сервісі; засоби контролю

та діагностики — анкетування, початковий контроль та тематичний / підсумковий контроль.

9. *Доповідь на конференції.* Відпрацювання навичок презентації, подання та захисту матеріалів дослідження. Виступ на конференції супроводжується презентацією (як доповідь теоретичних аспектів) та демонстрацією практичної роботи з хмаро орієнтованими технологіями в онлайн-режимі.

10. *Попередній захист проекту в межах академічних груп (наукового гуртка).* Головне завдання — підготовка до участі у заходах наукової конкуренції, коригування критеріїв оцінювання, що враховують питому вагу дослідницького контенту.

11. *Глобальний захист проектів.* На цей захід доцільно залучати співробітників наукової частини, представників кафедр, які забезпечують викладання інформатичних дисциплін, та випускових кафедр за спеціальностями, які охоплюють експеримент.

Зазначені етапи були сформовані на основі результатів діяльності наукового гуртка «Використання ІКТ в освітньому процесі» [11] (далі — науковий гурток) Київського університету імені Бориса Грінченка, який засновано у 2008 р. Основні положення і результати його діяльності було висвітлено та обговорено на відкритих заняттях-захистах гуртка, всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях. Окремі праці було опубліковано у фахових виданнях (кількість друкованих матеріалів коливалась у межах 3–7 публікацій за рік).

Дидактичний супровід методичної моделі «Використання хмаро орієнтованих технологій навчання інформатичних дисциплін» передбачає широке застосування традиційних форм навчання — лекцій, семінарів, консультацій, самостійної роботи. Запровадження хмаро орієнтованих технологій в освітній процес передбачає застосування активних методів, таких як ділові ігри, тренінги, групові дискусії, індивідуальні тренінги тощо. Вибір конкретної технології навчання для кожної спеціальності (освітньої програми) та її деталізація щодо навчальної дисципліни здійснюється на рівні кафедр і спеціальностей.

Наведемо приклад реалізації проекту, створеного студентами, в системі дистанційного навчання Moodle (рис. 1.4.7).





Рис. 1.4.7. Приклад структури електронних методичних матеріалів при вивченні хмаро орієнтованих технологій (тема «Хмарний сервіс Pixlr Express»)

Оскільки контингент експерименту охоплює бакалаврат, магістратуру та не виключає участь у науковому гуртку аспірантів, можна сміливо стверджувати, що виконуються такі траєкторії навчання:

- навчання, засноване на дослідженні;
- навчання, зосереджене на дослідженні;
- власне дослідження.

Запровадження окресленої моделі сприяє продуктивній діяльності студентів; самостійності освоєння нових знань та максимальному наближенню набутого досвіду до вимог ринку праці; формуванню активної пошукової позиції учасників проекту; формуванню у студентів критичного мислення шляхом поетапної активізації операцій мислення.

Перспективою дальшої апробації моделі є підготовка наукових робіт студентів до участі у міжнародних проєктах.

Висновки. У ході дослідження описано можливості використання хмаро орієнтованих сервісів під час організації освітньої діяльності студентів у процесі вивчення інформатичних дисциплін. Сервіси можна поділити на три групи: для візуалізації навчального матеріалу та результатів самостійної роботи; для організації колективної взаємодії та кооперативного навчання; для контролю та аналізу успішності студентів.

Сформовано модель організації навчання інформатичних дисциплін із використанням хмаро орієнтованих технологій, що включає такі етапи: об'єднання в дослідницькі групи (3–5 осіб); визначення об'єкта дослідження; визначення мети і завдання; розподіл завдань у групі; формування публікації; компонування, редагування публікації; подання тез доповідей; конвертування матеріалів у LMS Moodle; доповідь на конференції; попередній захист проєкту; глобальний захист проєкту. Кожен етап має певний термін виконання і передбачає здійснення науково-дослідної роботи студентів на засадах студентоцентрованого підходу.

## ДЖЕРЕЛА

1. Proshkin V. V., Glushak O. M., Mazur N. P. Organization of Research Work of Students of Humanitarian Specialties by Means of Cloud-oriented Technologies. *Information Technologies and Learning Tools*. 2018. Т. 63, No. 1. С. 186. DOI: 10.33407/itlt.v63i1.1864.

2. Shyshkina M.P., Popel M.V. Cloud Based Learning Environment of Educational Institutions: The Current State and Research Prospects. *Information Technologies and Learning Tools*. 2013. Т. 37, No. 5. С. 66–80. DOI: 10.33407/itlt.v37i5.903.

3. Проєктування і використання відкритого хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища закладу вищої освіти / В.Ю. Биков та ін. *Information Technologies and Learning Tools*. 2019. Т. 74, No. 6. С. 1–19. DOI: 10.33407/itlt.v74i6.3499.

4. Use of cloud-oriented technologies in the condition of distance education / I. Y. Slobodianiuk et al. *Physical and Mathematical Education*. 2020. Vol. 2, No. 23(1). DOI: 10.31110/2413-1571-2020-023-1-2-012.

5. Гаврилюк О.Д. Порівняння наявних хмаро орієнтованих технологій навчання для підготовки бакалаврів статистики. URL: <https://www.cuspu.edu.ua/ua/konferen-2018-2019-arhiv/viii-mizhnarodna-naukovo-praktychna-onlain-internet-konferentsiia-problemy-ta-innovatsii-u-pryrodnycho-matematychnii-tekhnologichnii-i-profesiinii-osviti/sektsiia-4-zastosuvannia-informatsiino-komunikatsiinykh-i-kompiuternykh-tekhnologii-ta-zasobiv-navchannia-u-pryrodnycho-matematychnii-tekhnologichnii-ta-profesiinii-osviti/9430-porivnyannya-naavnykh-khmaro-oriyentovanykh-tekhnologiy-navchannya-dlya-pidhotovky-bakalavriv-statystyky> (дата звернення: 12.12.2020).

6. Гаврилюк О.Д. Використання хмаро орієнтованих технологій навчання для формування професійних компетентностей майбутніх бакалаврів статистики: понятійно-термінологічний апарат дослідження. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*, 2019. № 66. С. 30–33. URL: [www.chasopys.ps.npu.kiev.ua/archive/66-2019/9.pdf](http://www.chasopys.ps.npu.kiev.ua/archive/66-2019/9.pdf) (дата звернення: 12.12.2020).

7. Скільки людей у світі користуються інтернетом. *The Village*. URL: <https://www.the-village.com.ua/village/city/city-news/290933-skilki-lyudey-u-sviti-koristuyutsya-internetom-oon> (дата звернення: 25.11.2020).

8. Інтернет-тенденції 2020 року. Статистика та факти в США та в усьому світі. URL: <https://uk.vpnmentor.com/> (дата звернення: 25.11.2020).

9. Benjamin B. Bederson, Ben Shneiderman. The craft of information visualization: readings and reflections, Morgan Kaufmann, 2003. P. 432. URL: <http://www.cs.umd.edu/hcil/pubs/books/craft.shtml> (дата звернення: 13.12.2020).

10. Bodnenko D. M. Cloud Oriented Technologies as a Factor of Research-based Training. *Information Technologies and Learning Tools*. 2015. Т. 48, No. 4. С. 122. DOI: 10.33407/itlt.v48i4.1261

11. Бодненко Д., Кучаковська Г. Науковий гурток використання ІКТ в освітньому процесі. URL: [https://fitu.kubg.edu.ua/images/stories/departments/kitmd/2017-2018/naukovyi\\_hurtok\\_vykorystannia\\_ikt\\_v\\_osvitnomu\\_protsezi.pdf](https://fitu.kubg.edu.ua/images/stories/departments/kitmd/2017-2018/naukovyi_hurtok_vykorystannia_ikt_v_osvitnomu_protsezi.pdf) (дата звернення: 12.12.2020).

## 1.5. АЛГОРИТМИ ГЕНЕРУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАВДАНЬ МЕТОДОМ ШАБЛОНІВ

**Сергій Радченко**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

Проблема ефективної реалізації формату подання, зберігання та використання дидактичних матеріалів для набуття студентами практичних навичок розв'язування вправ з різних напрямів математики розглядалася у багатьох дослідженнях [1]. Результати таких розвідок суттєво залежали від часу їх проведення. До початку масового використання комп'ютерів у навчальному процесі ці дослідження стосувалися, головним чином, питань змістового урізноманітнення завдань у сталих дидактичних пакетах, що вимагало достатньо високого рівня підготовки студентів. Оскільки можливості тиражування збірок завдань були дуже обмежені, останні часто залишалися незмінними протягом багатьох років, що дало змогу студентам створювати неформальні осередки інформаційних банків з пакетами розв'язаних вправ для дальшого використання наступними групами. Складнощі минулих методів організації дидактичних матеріалів існували також у площині начального аспекту реалізації таких матеріалів. Це було зумовлено величезною різницею між якістю оформлення друкованих офіційних видань та різного роду методичних посібників або просто списку завдань для проведення самостійних і контрольних робіт, набраних на друкарській машинці й тому далеких від певних естетичних стандартів типографської якості. У комп'ютерну епоху з'явилися нові можливості для тиражування практичних матеріалів, але здебільшого їх якість мало відрізнялася від старих методичних текстів. Урізноманітнення вправ досягалось переважно за рахунок накопичення бази прикладів з метою «перемішування» вправ між собою для створення «нової» картини варіантів завдань. Оскільки одним із важливих аспектів навчального процесу є психологічний фактор, то проблема візуального сприйняття матеріалу постала

перед педагогами у нових умовах достатньо серйозно. Йдеться про те, що студенти з погляду психології відповідально ставляться до отриманих завдань пропорційно формі їх подання. Тобто якщо, наприклад, студенту пропонується список вправ для самостійного розв'язання, відформатований та оформлений за всіма вимогами типографського друку, то цей матеріал сприймається як частина якогось стандарту, системи навчання високого рівня. Сучасні студенти, як свідчить досвід, негативно ставляться до матеріалу, який складно зрозуміти не з погляду змісту, а з причини неоднозначності сприйняття його неякісного оформлення. Це суттєво знижує авторитетність як самого матеріалу, так і його першоджерела. Всі ці міркування навели багатьох дослідників вказаної теми на думку щодо необхідності вдосконалення підходів до створення пакетів дидактичних та аналогічних їм матеріалів природничого спрямування в навчальному процесі.

Будемо вважати, що нам необхідно розробити певну базу даних вправ одразу з декількох напрямів навчання, для кожного з яких потрібно скласти відповідні алгоритми побудови методичних засобів для практичного використання безпосередньо у навчальному процесі. Сформулюємо загальні вимоги до педагогічних характеристик самого матеріалу. Якщо розглядати всю сукупність практичних вправ природничого спрямування, то завдання можуть суттєво відрізнитись як за рівнем складності, так і за метою їх використання в навчальному процесі. Виходячи з цього, сформулюємо основні вимоги до характеру практичних завдань відповідно до визначеної мети. Сучасний студент має під час досить короткого терміну засвоїти значну кількість наукових фактів та отримати практичні навички роботи з різноманітними застосуваннями. Деякі з них трапляються в навчальному процесі регулярно: обчислення арифметичних виразів, визначників, похідних та інтегралів, рівняння багатьох геометричних об'єктів, тотожні перетворення виразів. Частота їх появи в навчальному середовищі студента нерівномірна. Інколи буває терміново необхідно звернутися до певного фрагмента раніше засвоєних знань, а практичні навички за минулий проміжок часу могли втратити початкову чіткість та впевненість у прийнятті рішень. Метод повторного вивчення матеріалу не є оптимальним у багатьох ситу-

аціях, оскільки пов'язаний з непропорційними витратами часу. Значно кращим є метод використання системи опорних вправ, що дасть змогу в стислий проміжок часу поновити частково втрачені компетенції до прийняттого рівня, достатнього для розв'язання локальної задачі в ситуації мозкового штурму існуючої проблеми. Особливо ефективним такий спосіб нагадування засвоєного раніше матеріалу є у тому разі, коли подібні вправи вже розв'язувались раніше при вивченні відповідного курсу. З цією метою потрібно створити систему завдань чітко визначеного рівня складності та формату даних, які в них містяться. Кожен зі змістовних напрямів має розроблятися за окремими правилами, які визначаються специфікою наукового змісту навчальної дисципліни. Крім того, за змістовим форматом та очікуваним способом розв'язання вправи мають бути «технологічними», тобто питання ергономіки процесу виконання завдань повинні бути пріоритетними. Це означає мінімальність організаційних зусиль студента під час розв'язування завдань, які не мають безпосереднього стосунку до основної мети — засвоєння (поновлення) навичок практичного характеру. Деталі таких вимог будуть з'ясовані згодом у кожному окремому випадку.

Як зазначалось у вступі, кожна змістова частина практичного матеріалу навчальної дисципліни у запропонованому методі має свій власний алгоритм побудови методичного кластеру, тобто впорядкованої певним чином сукупності завдань з єдиною для їх обсягу метою. Причина такого підходу зумовлена тим, що створений алгоритм у кожному з випадків не передбачає (з причин, які будуть вказані нижче) використання середовищ для написання програмних продуктів мовою програмування.

Першою великою темою дослідження стала математична дисципліна «Лінійна алгебра». Цей вибір присутній також у дослідженнях інших авторів [1].

Отже, зробимо стислий огляд основних результатів у формі окремо сформульованих задач, посилаючись на опубліковані раніше роботи автора.

Основні задачі, для яких був успішно застосований метод шаблонів: задача № 1. Алгебраїчні операції з матрицями; задача № 2. Обчислення визначників; задача № 3. Метод Крамера розв'язуван-

ня систем лінійних алгебраїчних рівнянь; задача № 4. Метод Гауса розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь; задача № 5. Матричний метод розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь; задача № 6. Обчислення оберненої матриці; задача № 7. Обчислення рангу матриці; задача № 8. Операції з комплексними числами; задача № 9. Обчислення дисперсії та інших характеристик дискретних випадкових величин; задача № 10. Обчислення визначених інтегралів; задача № 11. Метод координат; задача № 12. Криві другого порядку; задача № 13. Прямі та площини; задача № 14. Вектори.

Продемонструємо метод побудови методично-інформаційного середовища, так званий метод шаблонів, для використання в навчальному процесі у форматі практичних занять на прикладі операції множення матриць. Основна вимога, яка впливає з попередніх міркувань, полягає у тому, щоб студент швидко засвоїв (поновив) навички отримання добутку матриць без додаткових зусиль, які прямо не стосуються мети завдання. Будемо вважати, що без використання процедури програмування ми маємо створити компактне локальне середовище для засвоєння зазначеного матеріалу. Вправи мають бути різноманітними як з погляду розмірностей матриць, так і за числовими значеннями їх елементів. Разом з тим потрібно, щоб числові значення не виходили за розумні межі арифметичної складності обчислень, яка не є основною метою цих завдань. Таким чином, вся задача формулюється в кільці цілих чисел з розумним вибором конкретних значень.

Визначимо тепер основну ідею методу [2], яка полягає в поєднанні можливостей програмного середовища Excel та текстового редактора TeX. Саме середовище міститься у звичайному файлі Excel і жодним чином не пов'язане з програмуванням. Це суттєво вирізняє його з-поміж багатьох інших досліджень у напрямі побудови засобів генерації типових завдань для математичних дисциплін, які ґрунтуються на використанні програмування для їх створення. У попередніх публікаціях [3] зазначалося, що одним із недоліків використання засобів дидактичного характеру шляхом застосування систем програмування є недостатній ступінь гнучкості. Створення програмістом програмне забезпечення потребує постійної підтримки відповідного програмно-апаратного комплексу (найчастіше

сервера університету або іншого навчального закладу) системним адміністратором та програмістом, який має отримувати побажання педагогічних працівників щодо нових даних та методичних інструментів, які можуть змінюватися досить часто. Це впливатиме на стабільність системи та призведе до зупинок сервера, тобто перерв у роботі тощо. Чи можна використати більш простий спосіб побудови середовища для створення та керування дидактичними матеріалами? Така можливість для деяких типів завдань (і навіть цілих тем) була встановлена в результаті дослідження, яке й пропонується в цій роботі, що є до певної міри підсумком низки попередніх наукових розвідок.

Розглянемо сучасні окремих результатів по пунктах.

### ***1. Метод шаблонів для формування пакетів навчальних вправ з математики.***

1. *Генерація вправ з обчислення визначників методом шаблонів.* Завдання полягає у тому, щоб створити середовище засобами програми “Excel”, яке не передбачає безпосередньої участі людини в процесі формування прикладів. З точки зору методики вимоги до самих об'єктів полягають у тому, що елементи визначників мають перебувати в певних межах, бути цілими числами, а самі визначники дорівнювати невеликим за абсолютними величинами числам. Оскільки в цьому методі програмування не планується, зазначеного результату ми досягнемо за допомогою математичних властивостей визначників та матриць. З теорії матриць відомо, що визначник добутку двох матриць дорівнює добутку визначників кожної з матриць. З іншого боку, визначник трикутної матриці дорівнює добутку елементів, які розміщені на діагоналі. Якщо вправи складатимуться з визначників трикутної форми, методичний ефект буде мізерним. Але при такій формі легко запланувати майбутнє значення визначника. Як зробити цей процес обчислення менш очевидним, зберігаючи можливість керувати значенням визначника? Вирішення проблеми полягало у тому, щоб помножити верхньотрикутну матрицю на нижньотрикутну. Визначник отриманої матриці дорівнюватиме загальному добутку діагональних елементів обох матриць. Отже, значення визначника можна підготувати заздалегідь, розмістивши на діагоналях потрібні елементи. Матриця, отримана в результаті множення двох трикутних ма-



триць, не буде трикутною і, отже, обчислення її визначника не очевидне, що й вимагалось у методичній меті. Отже, ми маємо в документі Excel дві таблиці з елементами двох трикутних матриць та матрицю-добуток, визначник якої відомий наперед. Після цього виникає питання: як генерується велика кількість визначників з довільними елементами?

Розглянемо трикутну матрицю 4-го порядку:

$$B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Покладемо значення елементів матриці (1) такими:  $a_{11} = 1$ ;  $a_{22} = 1$ ;  $a_{33} = 1$ ;  $a_{44} = c$ , де  $c$  — значення, отримане із вказаного діапазону генератором випадкових цілих чисел, вбудованим у програму “Excel”. Це значення і буде значенням визначника цієї матриці. Оскільки його значення не залежить від значень елементів, які лежать вище головної діагоналі, їх можна генерувати довільним чином теж у певних межах. Аналогічними міркуваннями отримаємо нижньотрикутну матрицю.

Наступний крок полягає у тому, щоб скопіювати всі три матриці з однаковими рядковими інтервалами нижче першої позиції достатню кількість разів. Ніяких складнощів така побудова не містить. Як це виглядає в реальному файлі, можна побачити на *рис. 1.5.1*.

Після того як масиви з потрібними значеннями визначників створені, потрібно надати їм належну форму для друку або відображення на екрані у вигляді готового завдання. З цією метою формується текстовий файл, побудований таким чином, щоб він був зрозумілим текстовому редактору TeX. Це означає, що крім текстових коментарів цей файл міститиме відповідні інструкції для відображення математичних об'єктів. Окремі текстові фрагменти з відповідними кодами, які визначають зовнішній вигляд підсумкового документа в редакторі TeX, розміщені поруч з таблицями значень окремого визначника.



У редакторі TeX він конвертується у формат PDF і виглядатиме вже так, як зображено на *рис. 1.5.2*. Потім всі ці фрагменти зв'язуються в єдиний документ, який можна скопіювати та вставити в редактор TeX з метою створення файлу у форматі PDF. Це і буде остаточний вигляд завдання для студентів із розв'язування визначників. Цей документ у практичному застосуванні створюється в автоматичному режимі без участі користувача. Одночасно з ним формується документ з відповідями.

3	1	1	1	2	2	2	2	2	2
2	3	3	1	1	3	3	2	3	1
3	2	3	2	2	1	1	2	1	1
1	3	3	1	2	3	3	2	3	3
3	1	2	1	2	2	1	3	3	2
2	3	2	1	1	1	2	3	2	2
2	3	2	3	1	1	3	1	3	3
1	1	2	3	2	3	3	1	3	2
2	3	3	2	1	1	98	3	3	3
2	2	1	3	2	3	1	77	3	2

*Рис. 1.5.2.* Результат конвертації даних визначника, отриманих методом шаблонів, у формат редактора TeX з подальшою компіляцією у формат PDF.

Таким чином втручання людини в процес підготовки завдань обмежується двома простими діями — командою створити документ та копіюванням у відповідний текстовий редактор TeX. Слід звернути увагу на те, що в іншій реалізації з такою ж метою використовується програмування, яке часто реалізується в алгоритмах з великою кількістю циклічних процедур, що викликане необхідністю перебирання значної кількості варіантів для отримання необхідних параметрів кожного визначника. Очевидно, що потреба змінити навіть одне слово в текстовому супроводі того чи того завдання призводить до необхідності зміни коду програми та компіляції з відповідними наслідками організаційного характеру. У нашому способі потрібно тільки у відповідну комірку програми “Excel” ввести необхідний текст

і редактор TeX зможе сформувати документ у цілому без будь-яких спотворень зовнішнього вигляду. Отже, будь-які додаткові фрагменти в документі, підготовленому в середовищі Excel, будуть враховані в редакторі TeX автоматично. На відміну від такого редактора, як MS Word, редактор TeX має відкритий формат документа разом з командами форматування останнього, що і дало змогу скористатися текстовими та логічними функціями програми “Excel” для автоматизації процесу побудови математичних завдань. Відсутність програмування при цьому компенсується максимальним застосуванням математичних конструкцій, які беруть на себе більшість принципів завдань.

Ще однією перевагою такого методу є те, що для створення підсумкового документа із завданнями з різних тем можна просто з'єднати отримані в програмі “Excel” фрагменти, а редактор TeX сам надасть йому потрібного естетично та логічно довершеного вигляду.

*2. Системи лінійних рівнянь.* Як зазначалося вище, кожен окремий тип завдань потребує детального аналізу з математичної точки зору для вибору оптимального способу підготовки відповідних вправ згідно з методичними та педагогічними вимогами до їх змісту. Тому з погляду наукового інтересу така робота є цікавою, а результати цінними для дальших досліджень.

Наступний тип вправ потребує додаткових зусиль зі створення відповідного середовища в загальних рамках методу шаблонів. Завдання полягає у розробленні пакетів завдань для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь. В одній із попередніх публікацій [3] було з'ясовано, що створення числових масивів для систем лінійних алгебраїчних рівнянь суттєво відрізняється від аналогічної задачі для визначників, тому що систему лінійних рівнянь (також з цілими коефіцієнтами, які перебувають у певних межах) потрібно створити, задавши заздалегідь відповідний розв'язок, якщо йдеться про визначені системи. Це означає, що коефіцієнти при невідомих формуються (враховуючи дидактичні вимоги) випадковими числами з певними обмеженнями за абсолютними величинами, а потім обчислюється ліва частина кожного з рівнянь. Вільний член у правій частині рівняння є результатом такого обчислення. Зрозуміло, що рівняння матиме саме такий розв'язок, якщо ліва частина дорівнюватиме правій. Така процедура здійснюється для всіх рівнянь заданої системи. Зрозуміло, що для системи певної розмірності потрібно підготувати

свої власні шаблони, призначені саме для них. Для підготовки вправ такого типу доводиться використовувати логічні функції Excel, але всі умовні переходи здійснюються в окремих комірках, тому в жодному разі не йдеться про якесь програмування. Причина полягає у тому, що окремі рівняння в системі можуть бути неповними, тобто деякі коефіцієнти перед невідомими можуть дорівнювати нулю, що призводить до скорочення запису. Крім того, коефіцієнти, які дорівнюють одиниці або мінус одиниці, традиційно не записуються перед невідомими. Замість них всередині рівняння ставиться знак плюс, якщо це одиниця, або мінус, якщо мінус одиниця. Якщо невідоме стоїть на початку рівняння з коефіцієнтом «1», коефіцієнт взагалі не записується при побудові документа, який передаватиметься в редактор TeX, а мінус одиниця при першому невідомому в рівнянні замінюється на знак «мінус». Зазначені особливості зовнішнього вигляду системи рівнянь потрібно врахувати у загальному документі. Всі ці дії виконуються, зрозуміло, на етапі підготовки шаблонів. При використанні готових шаблонів ніяких додаткових дій від користувача не вимагається — система все зробить сама. Наведемо приклад (для системи з чотирьох рівнянь з чотирма невідомими) документа TeX, підготовленого в середовищі Excel для конвертування у формат PDF:

```
-2; -4; 0; -5\left\{\begin{array}{l} -2x_1+6x_3=4, \\ -4x_1+x_2+14x_3=4, \\ -1x_2-x_3-x_4=9, \\ -5x_1+x_2+22x_3-6x_4=36.\end{array}\right.
```

Кортеж з чотирьох чисел на початку запису є запланованим розв'язком системи. Після конвертації наведений фрагмент у документі матиме такий вигляд (рис. 1.5.3).

$$\begin{array}{l}
 -2; -4; 0; -5 \\
 \left\{ \begin{array}{l}
 -2x_1 + 6x_3 = 4, \\
 -4x_1 + x_2 + 14x_3 = 4, \\
 -1x_2 - x_3 - x_4 = 9, \\
 -5x_1 + x_2 + 22x_3 - 6x_4 = 36.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Рис. 1.5.3. Автоматично генерована система з відповіддю

Для ілюстрації необхідності обробки тексту кожної формули ми навели вигляд системи рівнянь без використання умовних переходів, внаслідок чого з'явився некоректний фрагмент у формі коефіцієнта «-1» перед першим невідомим у третьому рівнянні.

Після логічного аналізу вмісту кожної з комірок отримуємо остаточно вигляд згідно з попередніми вимогами (рис. 1.5.4).

$$\left\{ \begin{array}{l} -2x_1 + 6x_3 = 4, \\ -4x_1 + x_2 + 14x_3 = 4, \\ -x_2 - x_3 - x_4 = 9, \\ -5x_1 + x_2 + 22x_3 - 6x_4 = 36. \end{array} \right.$$

Рис. 1.5.4. Зображення відредагованої системи з відповіддю

Для системи з іншою кількістю рівнянь та невідомих потрібно готувати інший шаблон з урахуванням таких же вимог щодо математичного змісту та естетичного вигляду.

3. *Обчислення рангу матриць.* Створення пакетів вправ для обчислення рангу є дуже цікавим завданням для дослідника, оскільки в цьому разі математична складова висувається на перший план. Суть методичної проблеми полягає у тому, що більшість матриць з випадковим чином вибраними елементами має ранг, який дорівнює меншій із розмірностей, тобто є максимальним для цієї матриці. Це пов'язано з тим, що тільки відносно невеликий відсоток визначників з випадковими числами дорівнюватиме нулю.

Але з методичної точки зору цікавими є вправи, у яких матриця має ранг менший, ніж мінімум серед кількості рядків та стовпчиків. Якщо зменшення рангу досягати за рахунок створення в матриці пропорційних рядків або стовпчиків, то вправи з такими матрицями будуть для студентів занадто очевидними, тобто буде відсутня необхідна для цієї теми складність завдання. Добирати трійки або більшу кількість лінійно залежних рядків чи стовпчиків вручну дуже важко на практиці. Потрібно створити таку модель шаблону, у якій достатньо велика кількість різних матриць матиме наперед заданий ранг, а самі вони зовнішнім виглядом не нагадуватимуть студентів

про те, яким може бути ранг. Математичне вирішення цієї проблеми пов'язано з відомим фактом про те, що добуток прямокутної матриці з визначеним рангом на квадратну матрицю, визначник якої не дорівнює нулю, буде матрицею з таким же рангом. Якщо задати таку прямокутну матрицю з відомим рангом та помножити її на різні невивроджені матриці, то отримаємо достатню кількість матриць наперед заданого рангу. Створивши певний пул матриць з відомим рангом, ми зможемо генерувати будь-яку їх кількість із заданим наперед переліком рангів.

Проблема пропорційних рядків у матриці з наперед заданим рангом вирішується виходячи з дуже простого твердження, яке було раніше доведено, а саме: прямокутна матриця з наперед заданим рангом, у якої немає жодної пари пропорційних рядків, у добутку з невивродженою квадратною матрицею, визначник якої дорівнює одиниці, завжди буде матрицею, у якої немає жодної пари пропорційних рядків.

Відповідні побудови у форматі документа TeX здійснюються аналогічно попереднім випадкам.

*4. Невизначені неоднорідні системи лінійних алгебраїчних рівнянь.* Проблема генерування вправ для невизначених систем полягає у тому, як перевіряти правильність їх розв'язування. Оскільки невизначені системи мають нескінченну кількість розв'язків, можна сформулювати таку систему, задавши матрицю коефіцієнтів перед невідомими, ранг якої менший за кількість невідомих (методом шаблонів з попереднього пункту), а вільні члени обчислити таким же чином, як це робилося у пункті 2. Питання полягає у тому, що студент може знайти частинний розв'язок, який відрізнятиметься від зазначеного у відповіді. При цьому отримане розв'язання буде правильним. Вирішення цієї проблеми полягає в заданні для студента додаткових умов, за якими він однозначно вибере потрібний для перевірки розв'язок. Це суто математична задача, тому міняти загальний алгоритм у методі шаблонів у цьому разі не потрібно.

*5. Побудова фундаментальної системи розв'язків невизначеної однорідної системи.* Однорідна система лінійних рівнянь, на відміну від неоднорідної, завжди сумісна, оскільки всі вільні члени дорівнюють нулю. Побудова фундаментальної системи розв'язків теж є задачею з неоднозначною відповіддю, тому в цьому разі по-

трібно задати додаткову умову, яка гарантує однозначність відповіді. Проте тут слід врахувати, щоб виконання цієї додаткової умови не було занадто складне порівняно із самою вправою, тобто не призводило до необхідності розв'язувати систему відповідних рівнянь такого ж порядку. У рамках методу шаблонів ця проблема теж була вирішена.

Особливий технічний момент пов'язаний з тим, що у відповіді студентам не завжди вдається уникнути звичайних дробів у рамках виконання контрольних робіт. Для цього вводяться додаткові зміни в алгоритм методу шаблонів.

6. Використання методу шаблонів для генерування завдань з обчислення дискретних випадкових величин. В контексті дальшого розвитку методу шаблонів шляхом розширення сфери його застосування був вибраний курс теорії ймовірностей. Конкретний тип задач з цієї дисципліни, відібраний для дослідження, можна означити як вправи з обчислення характеристик дискретних випадкових величин. Слід зазначити, що використання методу шаблонів для такого типу задач має свої особливості, відмінні від тих критеріїв, які застосовувалися в завданнях з курсу лінійної алгебри. Як було зазначено вище, вправи з лінійної алгебри в основному зводилися до операцій з цілими числами, причому такий підхід до розроблення вправ не шкодить процесу поглиблення знань студента та формування його практичних навичок. У вправах з теорії ймовірностей використання цілих чисел здебільшого з природних причин не є можливим, оскільки основне поняття «ймовірність випадкової події» вимірюється значенням, яке лежить у межах від нуля до одиниці. Це означає, що у формуванні вправ на цю тематику важливо зважати на необхідність мати справу з обмеженою кількістю значень дробових чисел у завданнях. З цією метою був застосований інший алгоритм побудови методу шаблонів для такого типу завдань, який враховує особливості вказаної дисципліни. У цьому алгоритмі використовуються способи, які ґрунтуються на спеціальному алгоритмі зміни адресації комірок (з можливою зміною їх значень на основі аналізу всієї сукупності початкових даних дискретної випадкової величини) у програмі "Excel" з метою випадкового перемішування цих комірок з обмеженою кількістю значень. При цьому потрібно було зберегти ті основні переваги методу шаблонів, які полягають



у суттєвому зменшенні, порівняно зі стандартним методичним підходом до формування такого сорту завдань, навантаження арифметичного характеру, тобто відповіді в кожній вправі мають бути такими, щоб гарантовано привести студента в процесі розв'язування до однозначного результату.

Запропонований вище підхід є достатньо універсальним для того, щоб поширити його на вправи з інших розділів математики, які мають обмеження на кількість наборів числових або символічних параметрів. Випадкова вибірка незмінних пакетів даних для формування загального завдання компенсує такі обмеження.

7. Деякі розділи аналітичної геометрії. Характер та алгоритми використання методу шаблонів дають змогу їх застосовувати також і в побудові вправ з аналітичної геометрії. Можна вказати найбільш придатні для цієї мети теми. У дослідженні були побудовані шаблони для таких завдань: перетин прямих у просторі, побудова рівняння прямої паралельної іншій прямій; побудова прямої, перпендикулярної до заданої прямої; побудова прямої, перпендикулярної до заданої площини; побудова рівнянь кривих другого порядку на площині; задачі пов'язані з векторами. Основною проблемою у процесі створення шаблонів задач такого типу було те, що координати багатьох об'єктів при довільному заданні параметрів та коефіцієнтів виходять за межі дидактичних умов для таких вправ. Йдеться про появу наближених чисел, поданих у формі десяткових дробів. З цією метою був здійснений аналіз задач та їх розв'язку з метою спрощення арифметичних обчислень та досягнення однозначності відповіді в кожній вправі.

#### *Приклад кодового тексту у форматі редактора TeX*

Пакет завдань на перетин прямих, заданих загальним рівнянням. \\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -2x - y = 6 \$ та пряма \$ L2: -8x = 16 \$ \\ Визначити точку перетину цих прямих. \\ Відповідь:  $M(-2; -2)$ . \\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -2x - 3y = 42 \$ та пряма \$ L2: -4x + 2y = 4 \$ \\ Визначити точку перетину цих прямих. \\ Відповідь:  $M(-6; -10)$ . \\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -4x + 2y = 8 \$ та пряма \$ L2: 12x + 9y = -54 \$ \\ Визначити точку перетину цих прямих. \\ Відповідь:  $M(-3; -2)$ . \\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -4x - y = 26 \$ та пряма \$ L2: 8x - 3y = -22 \$ \\ Визначити точку перетину цих прямих. \\ Відповідь:  $M(-5; -6)$ . \\

Задані дві прямі: пряма \$ L1: -4x - y = 38 \$ та пряма \$ L2: -12x - y = 94 \$  
 \\\ Визначити точку перетину цих прямих.\\ Відповідь:  $M(-7; -10)$ .  
 \\\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -2x - 3y = 2 \$ та пряма \$ L2: -10x - 9y = 10 \$ \\\ Визначити точку перетину цих прямих.\\ Відповідь:  $M(-1; 0)$ .  
 \\\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -4x + 4y = 28 \$ та пряма \$ L2: 20x + 25y = 310 \$ \\\ Визначити точку перетину цих прямих.\\ Відповідь:  $M(3; 10)$ .  
 \\\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: -4x - y = 26 \$ та пряма \$ L2: -20x - 3y = 118 \$ \\\ Визначити точку перетину цих прямих.\\ Відповідь:  $M(-5; -6)$ .  
 \\\ Задані дві прямі: пряма \$ L1: 5x + 2y = 35 \$ та пряма \$ L2: 5x + 6y = 55 \$ \\\ Визначити точку перетину цих прямих.\\ Відповідь:  $M(5; 5)$ .

Результат конвертації виглядатиме як на *рис. 1.5.5*.

Пакет завдань на перетин прямих, заданих загальним рівнянням.  
 Задані дві прямі: пряма  $L1: -2x - y = 6$  та пряма  $L2: -8x = 16$   
 Визначити точку перетину цих прямих.  
 Відповідь:  $M(-2; -2)$ .  
 Задані дві прямі: пряма  $L1: -2x - 3y = 42$  та пряма  $L2: -4x + 2y = 4$   
 Визначити точку перетину цих прямих.  
 Відповідь:  $M(-6; -10)$ .  
 Задані дві прямі: пряма  $L1: -4x + 2y = 8$  та пряма  $L2: 12x + 9y = -54$   
 Визначити точку перетину цих прямих.

*Рис. 1.5.5.* Автоматично створена умова геометричної задачі

## **II. Метод шаблонів як форма розв'язування студентами навчальних вправ з математики.**

1. Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь у середовищі методу шаблонів.

У методі шаблонів існує і друга можливість, що пов'язана з процесом розв'язування студентами систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Витрати часу та зусиль студентів при звичайному способі виконання вправ не можна назвати раціональними з огляду на те, що переважну більшість чисел та символів доводиться при перетвореннях просто переписувати. У зв'язку з цим був запропонований достатньо зручний спосіб розв'язання систем лінійних

рівнянь за допомогою методу шаблонів. Він полягає у використанні таблиць Excel з готовими шаблонами матриць та деякими додатковими можливостями.

Отже, на робочому аркуші програми створюємо достатню кількість таблиць, які на початковому етапі виглядають абсолютно однаково. Це відбувається тому, що кожна комірка будь-якої таблиці з певним матричним індексом посилається на відповідну комірку попередньої таблиці з тим же індексом. Наприклад, комірка C11 таблиці має значення «2». Індекс цього елемента у матриці дорівнює «41», тобто це елемент  $a_{41}$ . Знаходимо у наступній таблиці елемент з таким же індексом (рис. 1.5.6), його адреса в програмі «Excel» — C18, але індекс цього елемента у вказаній матриці знову — «41», тобто це, як і раніше, елемент  $a_{41}$ . Проте у рядку формул ми бачимо не число 2, як у самій комірці, а посилання «=C11». На мові інструкцій програми «Excel» це означає «взяти значення з комірки C11 і передати його у комірку C18». Тож кожна наступна таблиця, якщо вона не змінилася, буде збігатися з попередньою.

	A	B	C	D	E	F	G	H
7			1	2	3	4	b	
8		1	6	17	27	28	48	
9		2	9	25	37	35	69	
10		3	21	58	84	77	159	
11		4	-15	-41	-57	-49	-111	
12								
13							C11 => C18	
14			1	2	3	4	b	
15		1	6	17	27	28	48	
16		2	9	25	37	35	69	
17		3	21	58	84	77	159	
18		4	-15	-41	-57	-49	-111	

Рис. 1.5.6. Зв'язок адрес зв'язаних елементів матриць у шаблонах

Як і у випадку генерування завдань для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь, ми маємо наперед задану відповідь (якої студент ще не знає) та таблицю (яка відповідає завданню), що складається з коефіцієнтів при невідомих та стовпчика вільних членів, обчислених за правилом, сформульованим у пункті 2 розділу I.

Слід зазначити, що студент може використовувати файл шаблонів у власний спосіб, задаючи коефіцієнти самостійно (рис. 1.5.7).

	1	2	3	4	b				
1	1	2	3	4	-6	x1=	1	Сюди вводимо бажані значення невідомих, що складатимуть розв'язок системи	
2	-5	-7	-11	-13	18	x2=	2		
3	2	-2	5	-5	3	x3=	-1		
4	1	-1	31	29	-90	x4=	-2		
Сюди вводимо коефіцієнти системи рівнянь. Перший стовпчик — невідомі $x_1$ , другий стовпчик — невідомі $x_2$ і так далі					У цей стовпчик вводити не треба — вони виникають автоматично в залежності від значень невідомих				

Рис. 1.5.7. Візуально зрозумілий інтерфейс середовища шаблонів для розв'язування систем рівнянь

Коефіцієнти при невідомих вводимо в «ліву» таблицю (рис. 1.5.7), стовпчик трохи правіше — це вільні члени. Правіше вводимо значення невідомих, які утворюють кортеж розв'язку. Як тільки це буде зроблено, програма автоматично (у стовпчику вільних членів — формули) змінить значення вільних членів таким чином, щоб система лінійних рівнянь мала саме такий розв'язок, який був вибраний. Це досить зручно, оскільки можна дібрати собі таку систему, розв'язок якої складатиметься з цілих чисел, що важливо з методичних міркувань.

## 2. Обчислення оберненої матриці методом шаблонів.

Для навчальних вправ необхідно дібрати достатню кількість матриць, визначник яких лежить у певних межах і відомий наперед. При цьому сама матриця не повинна жодним чином своїм зовнішнім виглядом нагадувати можливе значення визначника. Ми тут використовуємо відомий факт про те, що визначник три-

кутної матриці дорівнює добутку її діагональних елементів. Добуток двох матриць, верхньотрикутної та нижньотрикутної, матрицею трикутного вигляду не буде. Отже, матриця з наперед заданим визначником отримана виходячи з теореми про визначник добутку матриць (рис. 1.5.8).

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ -9 & 3 & 0 \\ 11 & 7 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 22 & -3 \\ 0 & 3 & 9 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 44 & -6 \\ -18 & -189 & 54 \\ 22 & 263 & 31 \end{pmatrix}$$

Рис. 1.5.8. Добуток трикутних матриць  
потребує зусиль для обчислення визначника

Матриця, отримана множенням трикутних матриць (рис. 1.5.8), зовнішнім виглядом не нагадує про конкретне значення її визначника і тому з методичної точки зору є належним матеріалом для завдань.

Слід дещо додати стосовно конструкції двох трикутних матриць, добуток яких ми обчислюємо. Справа в тім, що нулі, присутні як елементи цих матриць, вводяться в шаблон вручну й залишаються незмінними. Елементи, які стоять над діагоналлю або під нею — ненульові — вибираються випадковим чином за механізмами програми “Excel” у певних межах. Діагональні ж елементи можна отримати таким чином: візьмемо, наприклад, всі елементи, крім одного, рівними одиниці й уведемо їх вручну. При цьому один із діагональних елементів набуватиме випадкового значення в деяких межах, зазвичай невеликих, для того щоб вправи мали навчальний характер.

У разі використання шаблонів у програмі “Excel” для вказаної мети не має потреби генерувати велику кількість матриць, оскільки для виконання вправи достатньо однієї. Тому дані, здобуті таким способом, копіюються в інший шаблон, який імітує розширену матрицю, отриману із заданої приєднанням одиничної матриці такого ж порядку. Як завжди, у методі шаблонів кожна наступна матриця наслідує попередню за виключенням тих комірок, у яких були зроблені відповідні перетворення. Останні цілком відповідають еле-

ментарним перетворенням рядків матриць, що використовуються для обчислення її рангу.

Як і в разі з розв'язуванням визначників та систем лінійних рівнянь, формули для обчислення нового значення вводяться вручну тільки в одну комірку, а потім, використовуючи можливості програми "Excel", просто копіюються на весь рядок, як показано на *рис. 1.5.9*. Таким чином економляться зусилля та час студента на другорядні операції, зменшується ймовірність помилки. Такий метод у разі цілих чисел як елементів матриці дає змогу уникати обчислень (у навчальних вправах) з дробами майже до останнього кроку, реалізуючи спрощений варіант класичного методу Барейса.

3	7	11	1	0	0
9	25	37	0	1	0
21	58	84	0	0	1
3	7	11	1	0	0
0	4	4	-3	1	0
21	58	84	0	0	1

*Рис. 1.5.9.* Відображення змін у таблицях

### ***III. Метод шаблонів для візуалізації процесу розв'язування студентами навчальних вправ з математики.***

Метод шаблонів, як з'ясувалося в результаті дослідження, має ще одне важливе застосування. Йдеться про відображення процесу розв'язування того чи того завдання студентом. Звичайний спосіб виконання практичного завдання полягає у тому, що він описує хід розв'язку задачі письмово, тобто на папері власною рукою. Це потребує витрат часу, з одного боку, та створює певні складнощі під час перевірки викладачем такої роботи, з іншого. Для деяких типів задач або тестування під час контрольних робіт та іспитів такий спосіб є єдино можливим, але в процесі масового розв'язування однотипних вправ на ту чи ту тему для закріплення відпо-

відних навичок було б непогано використати більш раціональний спосіб подання розв'язку задачі студентом викладачеві. Проведене дослідження ґрунтувалося на ідеї про те, що для деяких типів вправ у середовищі програми “Excel” за допомогою методу шаблонів можна автоматизувати процес створення розв'язку. З цією метою в середовищі Excel створюється набір контрольних фраз, які залежно від вибору студента прив'язуються до введених ним числових або символічних даних. Коли процес розв'язування таким способом закінчується, у програмі “Excel” формується текстовий файл, який можна копіювати в середовище текстового редактора TeX. Результатом цих дій буде файл у форматі PDF, який відформатований за вимогами єдиного стандарту та має типографську якість. Математичні об'єкти при цьому описуються таким же способом, як і в попередніх алгоритмах. Але вони є частиною опису процесу розв'язування задачі, тому між фрагментами тексту, який описує ці об'єкти, та необхідними операторами редактора TeX містяться відповідні коментарі з вказаного вище списку контрольних фраз (рис. 1.5.10).

$\$$	$\left\{\right.$	$8$	$\&$	$-10$	$\&$	$1$	$\&$	$1$	$\&$	$0$	$\&$	$0$	$\backslash\backslash$
		$-10$	$\&$	$18$	$\&$	$-3$	$\&$	$0$	$\&$	$1$	$\&$	$0$	$\backslash\backslash$
		$2$	$\&$	$-4$	$\&$	$1$	$\&$	$0$	$\&$	$0$	$\&$	$1$	$\end{array}\right.\$$
													$\$$
													$\left\{\right.$
													$\begin{array}{l}$

Рис. 1.5.10. Процес об'єднання фрагментів ключової фрази  
 $\$$  $\left\{\right.$  $\begin{array}{l} 8&-10&1&1&0&0 \\ -10&18&-3&0&1&0 \\ 2&-4&1&0&0&1 \end{array}\right.\$$

Один із розроблених алгоритмів створення опису розв'язування системи лінійних алгебраїчних рівнянь можна проілюструвати за допомогою зображення відповідного інтерфейсу середовища методу шаблонів. Студент у таблицях шаблонів здійснює відповідні перетворення, а потім у коментарях просто вводить числові позначення для номерів рядків розширеної матриці та коефіцієнтів, за допомогою яких відбувається перетворення (рис. 1.5.11).

	1	2	3	4	b		
1	5	36	-13	25	-100	$x_1 =$	0,
2	6	17	39	49	51	$x_2 =$	-1,
3	5	8	11	17	8	$x_3 =$	3,
4	9	7	-6	2	-27	$x_4 =$	-1.

Скопіювати: `к на 2 та додамо до 3 рядка` \Отри

	1	2	3	4	b	№	рядок на	№	рядка
1	5	36	-13	25	-100	Пмножимо	1	2	3
2	6	17	39	49	51	\Отримали систему		обов.	необов.
3	5	8	11	17	8				
4	9	7	-6	2	-27				

	1	2	3	4	b	№	рядок на	№	рядка
1	5	36	-13	25	-100	Пмножимо		3	1
2	6	17	39	49	51	\Отримали систему		обов.	необов.
3	5	8	11	17	8				
4	9	7	-6	2	-27				

Рис. 1.5.11. Приклад автоматичного формування TeX-файлу під час розв'язування системи алгебраїчних рівнянь методом шаблонів

Після того як процес розв'язування (рис. 1.5.11) завершено, студент отримує файл приблизно такого вигляду:

Розв'язати систему рівнянь 
$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$
 Помножимо 1 рядок на 2 та додамо до 3 рядка \Отримали систему: 
$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$
 Помножимо 3 рядок на -2 та додамо до 1 рядка \Отримали систему: 
$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$
 Помножимо 2 рядок на 3 та додамо до 3 рядка \Отримали систему: 
$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$
 Правильні відповіді: (0, -1, 3, -1)



У результаті конвертації документа, створеного у форматі редактора TeX, отримуємо документ PDF (рис. 1.5.12).

Розв'язати систему рівнянь

$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$

Помножимо 1 рядок на 2 та додамо до 3 рядка  
Отримали систему:

$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$

Помножимо 3 рядок на -2 та додамо до 1 рядка  
Отримали систему:

$$\begin{cases} 5x_1 + 36x_2 - 13x_3 + 25x_4 = -100, \\ 6x_1 + 17x_2 + 39x_3 + 49x_4 = 51, \\ 5x_1 + 8x_2 + 11x_3 + 17x_4 = 8, \\ 9x_1 + 7x_2 - 6x_3 + 2x_4 = -27. \end{cases}$$

Рис. 1.5.12. Автоматично сформований документ з результатами роботи студента

Опис процесу розв'язування закінчується відповіддю, яка теж формується автоматично в результаті перетворень, що здійснює студент (рис. 1.5.13).

Правильні відповіді: (0,-1,3,-1.)

Рис. 1.5.13. Автоматична відповідь з розв'язками системи

Рис. 1.5.12–1.5.13 ілюструють підсумок застосування методу шаблонів у зазначеній вище версії для систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Висновок. Проведені дослідження підтверджують ефективність застосовуваного методу генерування великої кількості завдань у багатьох навчальних курсах з математики. Метод поєднання можливостей програми “Excel” та редактора TeX, за допомогою яких можна автоматично створювати тексти вправ, відформатовані згідно з правилами побудови документів у редакторі TeX, дає змогу розв’язати кілька важливих методичних завдань, а саме: автоматизувати процес створення тренувальних вправ для здобуття студентами відповідних навичок розв’язування задач; суттєво спростувати процес розв’язування та перевірки викладачем отриманих від студентів розв’язків. Алгоритм методу шаблонів є дуже простим у створенні та використанні. Він не передбачає застосування програмних середовищ, і тому до розроблення такого типу алгоритмів можуть бути залучені викладачі, які знають основні можливості програми “Excel” та знайомі з деякими особливостями текстового редактора TeX.

#### ДЖЕРЕЛА

1. Коновалов Я.Ю. Генератор контрольных заданий по высшей математике: опыт создания и применения. *Интернет-журнал «Инженерный вестник»*. 2015. № 4. С. 1045–1055. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/771442.html>
2. Радченко С.П. Використання методу шаблонів при формуванні самостійних завдань для студентів з курсу лінійної алгебри *Неперервна професійна освіта: теорія і практика*. 2016. № 1–2. С. 85–90.
3. Радченко С.П. Побудова за методом шаблонів комп’ютеризованого середовища для вивчення систем лінійних алгебраїчних рівнянь. *Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова «Комп’ютерно-орієнтовані системи лінійних алгебраїчних рівнянь навчання»*. 2018. Вип. 20 (27). С. 107–113.

## 1.6. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК НЕВІД'ЄМНА ЧАСТИНА МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ СТУДЕНТІВ РІЗНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

**Ірина Машкіна, Тетяна Носенко**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

Серед різних характеристик сучасного періоду можна виділити одну особливу — це повернення до математизації. Сьогодні математичні розрахунки проникли в найрізноманітніші галузі знань і наукові дисципліни. Зараз неможливо собі уявити створення зразків нової техніки, будівництво, економіку, управління та інші сфери людської діяльності без застосування математичних моделей і методів їх розрахунку. При цьому використовуваний математичний апарат став значно різноманітнішим і складнішим, ніж це було ще зовсім недавно. Внаслідок цього підвищилися вимоги до математичної освіти майбутніх фахівців різних спеціальностей.

Можна відзначити й інший істотний фактор, що сприяє значному підвищенню інтересу до методів математичного моделювання як в науці й техніці, так і в інших галузях — це розвиток і широке поширення комп'ютерних засобів. За допомогою моделей, реалізованих на комп'ютері, можна вивчати нові явища, розв'язувати практично всі завдання аналізу і проєктування складних систем, здійснювати вибір найкращих варіантів рішень, аналіз та прогнозування поведінки систем тощо.

Математика і реальність можуть бути зв'язані за допомогою моделювання, оскільки «математичне моделювання — це процес, який використовує математику для представлення, аналізу, прогнозування або іншого способу надання уявлення про явища в реальному світі» [1]. Це інтерактивне з'єднання здійснюється із застосуванням відомого математичного процесу з метою вивчення, аналізу, пояснення, прогнозування реальних повсякденних життєвих ситуацій навколо нас. Тому невід'ємну частину математичної освіти сьогодні

ні має складати вміння будувати адекватні математичні моделі для дослідження реальних явищ. Проте опановуючи фундаментальні математичні дисципліни, студенти засвоюють формалізовані теорії математики й недостатньо приділяють увагу набуттю досвіду математичного моделювання, оволодінню методами опису об'єктів та явищ мовою математики з метою дальшого їх вивчення засобами математики й інформатики.

Постає питання застосування різних підходів для моделювання саме задач прикладної спрямованості. Можна виділити три напрями, відповідно до яких дослідники формулювали визначення поняття «прикладна задача»:

— діяльнісний — у визначенні прикладної задачі виділяється основна ознака, що пов'язана з навчанням студентів діяльності із застосування математики для розв'язання різних завдань (і не обов'язково нематематичної природи). Таке визначення запропоноване, наприклад, Н.В. Чангом [2]. Найхарактернішим для цього напрямку є формулювання Д. Ікрамова, відповідно до якого прикладна задача «характеризується не тим, що в її змісті використовуються практичні дані, а тим, що в ході її розв'язання застосовуються прийоми, способи і методи, характерні для діяльності в галузі використання математики» [3, 180];

— змістовний — тут домінуючою є змістова компонента, що вказує на галузь людської діяльності, з якої взято завдання. Представниками цього напрямку є Е.Я. Жак, В.В. Фірсов та ін., для яких задачі прикладного характеру — це задачі, що виникають у техніці та інших науках, професійній діяльності, народному господарстві, побуті;

— змістовно-діяльнісний — зазвичай диз'юнктивна або кон'юнктивна конструкція визначень перших двох напрямів, тобто у поняття «прикладна задача» закладається діяльнісна і (або) змістова компоненти.

Не можна не помітити, що ці формулювання різною мірою спільності відображають різні аспекти одного й того ж поняття — поняття «прикладної задачі» як основного об'єкта моделювання.

На початку, коли математичне моделювання стало інтенсивно проникати в різні сфери, специфіка конкретної галузі часто перебивала те загальне, що притаманне моделюванню як універсаль-

ному методу пізнання. Моделі й методи дослідження конкретних комп'ютерних, механічних, медичних, електричних, економічних, екологічних систем представлялися слабо пов'язаними одне з одним. У міру накопичення досвіду моделювання становище змінилося. Математичне моделювання, на нашу думку, перетворилося на окрему науку, і його загальні методи можуть бути застосовані в різних галузях, де, безумовно, існує своя специфіка. В основі моделювання лежать проблеми побудови та дослідження різних математичних моделей. Сьогодні можна вже говорити про єдині методи побудови, аналізу, перетворення, спрощення та властивості різних моделей.

Математичні моделі, що становлять інтерес для досліджуваної проблеми, — це математичні вирази, які можуть бути сформульовані «[...] з використанням чисельних виразів або формул, діаграм, графіків або геометричних уявлень, алгебри, таблиць тощо» [4]. Загальна класифікація основних видів моделювання наведена на *рис. 1.6.1* [5].



*Рис. 1.6.1.* Класифікація основних видів моделювання [5]

Потрібно розуміти, що при моделюванні можна застосовувати окремі його види самостійно або одночасно в деякій комбінації (наприклад, у імітаційному моделюванні зазвичай використовуються практично всі перелічені види моделювання або окремі прийоми). На ранніх етапах формування імітаційної моделі — концептуальне моделювання; для опису окремих підсистем моделі, а також у процедурах обробки й аналізу результатів обчислювального експерименту і прийняття рішень — логіко-математичне (включаючи методи штучного інтелекту). Структурно-функціональне моделювання використовується при розробці процесів в імітаційних моделях.

Слід зазначити, що одна модель з невеликими змінами може мати безліч застосувань. Це дуже корисно як для професійного моделювання, так і для моделювання в процесі навчання студентів, оскільки дає змогу використовувати одну модель для вирішення різних ситуацій.

Мета використання математичного моделювання, згідно з Блюмом і Феррі (2009) [6], може бути сформульована таким чином:

- 1) допомогти студентам краще зрозуміти реальні проблеми;
- 2) підтримати навчання математики (мотивація, формування концепції, розуміння);
- 3) сприяти розвитку різних видів компетенцій студентів;
- 4) сприяти адекватному уявленню студентів про математику.

Математичне моделювання як важливий прикладний математичний інструмент для розв'язання проблемних питань створює умови для формування у студентів вміння застосовувати системний підхід до вирішення проблеми, збору даних та аналізу реальних ситуацій і встановлення взаємозв'язків різних факторів. У цьому ж напрямі математичне моделювання сприяє формалізованій побудові середовища, де студенти можуть здійснювати моделювання та застосовувати аналогію, вважаючи, що одна й та сама модель може бути корисна при поданні різних ситуацій і допоможе в ідентифікації її використання в інших галузях знань.

При створенні або виборі завдання викладач має врахувати, чи вимагатиме воно від студентів прийняття рішень щодо застосування математичного підходу до вирішення проблеми. Також педагог має зважати на те, наскільки вони знайомі з контекстом та математичними поняттями, які можуть використовувати для виконання завдання. Викладач передбачає, як може бути розв'язане завдання (табл. 1.6.1).

Таблиця 1.6.1

**ПРИКЛАД ПІДГОТОВКИ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАННЯ  
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Визначте проблему	Викладач вибирає реальну проблему (наприклад, <i>вибір пакету послуг мобільного оператора</i> ). Проблема відкрита і вимагає від студентів прийняття рішення
Зробіть припущення та визначте змінні дані, що потрібні для моделювання	Студенти розглядають низку реальних факторів. Можливо, їм доведеться звузити фокус питання, щоб зробити проблему більш конкретно. Наприклад, студенти можуть зосередитися на одному операторові й різних пакетах послуг, якими вони регулярно користуються, і сформулювати рішення на основі цих конкретних умов. Або вибрати двох різних операторів з подібними пакетами послуг. Питання, які слід розглянути, можуть бути такими: яка вартість послуг? Скільки контактів користується послугами саме цього оператора? Який обсяг послуг їм потрібний?
Застосуйте математику	Студенти вивчають вартість пакетів, вибраних вище мобільних операторів, та один пакет (із значно дешевшими послугам), але непопулярного оператора. Вони здійснюють розрахунки для конкретних операторів, яких вибрали, визначають загальну вартість кожного пакета. Вибір математичного підходу в ідеалі залишається за студентом, але викладач може обмежуватись методами курсу чи розділу курсу
Проаналізуйте та оцініть рішення	Протягом усього процесу студенти обмірковують, чи має сенс їх припущення та стратегія у реальному контексті проблеми. Вони наводять математичні аргументи, пояснюючи, чому деякі відповіді не розумні чи не корисні, і доводять власне судження як обґрунтоване чи корисне
Ітерація	Залежно від того, наскільки студенти задоволені своїм кінцевим продуктом, вони можуть повернутися і змінити свій підхід. У процесі вдосконалення своєї моделі вони можуть розглянути, що розуміється під поняттям «економічно ефективна» в оригінальній постановці проблеми. Студенти, можливо, враховували лише цінову вартість послуги і не зважали на такий фактор, як її якість
Використання моделі	Однією з цілей створення математичних моделей є відповідь на питання, поставлене у реальному житті. Після того як студенти створили модель, згідно з нею вирішується, наприклад, коли варто економити, а коли доцільніше вибрати дорожчу пропозицію

Для цього він має дати відповіді на такі запитання:

- які запитання у студентів виникатимуть щодо контексту?
- Якої додаткової інформації вони потребуватимуть?
- Як вони отримають цю додаткову інформацію?
- Які припущення вони будуть робити, починаючи будувати свої моделі?
- Як я можу допомогти студентові почуватися комфортно, приймаючи припущення?
- Які види стратегій вирішення проблем найімовірніше застосуватимуть студенти?
- Як я хочу збалансувати обговорення в малих групах та в цілому?
- На якому етапі процесу моделювання студенти можуть застрягти?
- Які види стратегій я можу застосовувати для втручання, не беручи на себе процес моделювання?
- Які інструменти будуть використовувати студенти для аналізу своїх рішень та оцінки моделей?

Такого роду задачу на моделювання можна запропонувати тим, хто тільки починає навчатися на математичних, економічних чи технічних спеціальностях, або ж взагалі студентам інших спеціальностей, яких цікавить моделювання.

Студенти, які вже мають більш ґрунтовну математичну підготовку, мають застосовувати свої знання під час розв'язання складніших задач. Демонстрація того, що математична модель має описувати не тільки конкретні явища або об'єкти, а й досить широке коло різних явищ і об'єктів, сприяє розумінню універсальності математичних моделей. Одним із підходів до моделювання складних об'єктів є застосування аналогій з уже вивченими явищами. Як приклад розглянемо процеси коливань в об'єктах різної природи.

*Задача № 1.* Коливальний електричний контур, що складається з конденсатора і котушки індуктивності. Опір провідників вважаємо рівним нулю,  $q(t)$  — заряд на обкладках конденсатора,  $u(t)$  — напруга на обкладинках конденсатора,  $C$  — ємність конденсатора,  $L$  — індуктивність котушки,  $E$  — *e.p.c.* самоіндукції,  $i$  — струм.



$$q(t) = Cu(t),$$

$$E = -L \frac{di}{dt}, i = -\frac{dq}{dt}$$

$$u(t) = -E(t) \rightarrow L = \frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{C} q$$

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{LC} q = 0$$

**Задача № 2.** Найпростіша модель зміни заробітної плати та зайнятості:  $p(t)$  — заробітна плата,  $N(t)$  — кількість найманих працівників.

Баланс ринку праці: за плату  $p_0 > 0$  погоджуються працювати  $N > 0$  осіб. Передбачається, що:

а) роботодавець змінює заробітну плату пропорційно відхиленню кількості найманих працівників від рівноваги;

б) кількість працівників змінюється пропорційно зміні заробітної плати відносно  $p_0$ .

Система рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = -a_1(N - N_0), a_1 > 0, \\ \frac{dN}{dt} = a_2(P - P_0), a_2 > 0. \end{cases}$$

Звідси отримуємо рівняння:

$$\frac{d^2(p - p_0)}{dt^2} + a_1 a_2 (p - p_0) = 0.$$

**Задача № 3.** Малі коливання при взаємодії двох біологічних популяцій:  $N(t)$  — чисельність трав'яної популяції (1);  $M(t)$  — чисельність хижаків (2).

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = (a_1 - b_1 M)N, a_1 > 0, b_1 > 0 \\ \frac{dM}{dt} = (-a_2 - b_2 N)M, a_2 > 0, b_2 > 0 \end{cases}$$

Система перебуває в рівновазі, якщо  $\frac{dN}{dt} = \frac{dM}{dt} = 0$ .

Побудовані в задачах № 1–3 моделі в одних випадках засновані на точно відомих законах (задача № 1 про коливальний контур), а в інших — на спостережуваних фактах (задача № 3 про дві популяції). Цю задачу можна запропонувати з економічним змістом ринкової конкуренції) або уявленнях про характер об'єкта (задача № 2 про найпростішу модель заробітної плати).

Хоча і сутність зазначених явищ, і підходи до отримання моделей, що їх описують, абсолютно різні, побудовані моделі виявилися ідентичними. Це свідчить про найважливішу властивість математичних моделей — їх універсальність. Ця особливість широко використовується при вивченні об'єктів найрізноманітнішої природи.

Розглянемо коротко підходи, які найчастіше складають процес розв'язання реальної задачі:

1) задача математичного моделювання пов'язана із можливістю побудови математичної моделі досліджуваного процесу або явища, тобто перекладу вихідного завдання з термінів даної предметної галузі на математичну мову. Розв'язком задачі математичного моделювання є побудова математичної моделі (наприклад, у формі алгебраїчних, диференціальних, різницевих та ін. рівнянь і обмежень). Часто трапляється так, що розв'язок поставленого завдання вичерпується тільки побудовою моделі, яка вже відома, і відомий шлях її розв'язання. Тому можна говорити про задачу математичного моделювання як про окреме завдання, що становить самостійний інтерес;

2) розв'язання задачі математичного моделювання ініціює постановку завдання обчислення отриманої системи рівнянь і обмежень. Здебільшого розв'язання здійснюється за допомогою наближених методів (чисельних методів) і зводиться до побудови обчислювального алгоритму з виконанням всіх вимог, що висуваються до нього — масовості, результативності, детермінованості, скінченності числа кроків. Як розв'язок цього завдання виступає побудований обчислювальний алгоритм.

Ці підходи рівноправні з точки зору суті визначення поняття «задача». Для дальшого обґрунтування підходів до моделювання

прикладних задач розглянемо коротко процес розв'язання реального завдання. Він складається з послідовного розв'язування кількох задач (підзадач), розв'язок яких веде до отримання відповіді на поставлене реальне завдання. Тобто структура останнього — це система задач. Системоутворювальний фактор — логіка реального завдання, що має відповідати таким принципам:

- сталості, відповідно до якої прикладні задачі з'являються в рамках навчального процесу постійно;
- розміщення завдань у порядку зростання складності;
- поступовості, що передбачає поступовий розвиток умінь студентів, пов'язаних з моделюванням практичних ситуацій;
- повноти — прагнення максимально повно відобразити в прикладних задачах математичні ідеї, а також навести приклади, які стосуються різних галузей знань (фізика, хімія, біологія тощо).

Для більш вдалого розв'язання питання навчання моделюванню добре було б створити систему прикладних задач (СПЗ). У процесі побудови останньої потрібно дотримуватись таких підходів:

- рівневої диференціації, відповідно до якої одна й та сама задача може бути сформульована по-різному залежно від підготовленості групи студентів та їхніх спеціальностей;
- багатоваріантності розв'язання задачі, тобто прагнення ввести в СПЗ такі завдання, розв'язання яких можна здійснити різними методами та реалізувати отримані рішення;
- професійної орієнтації — прагнення наповнити СПЗ задачами, характерними для майбутньої професійної діяльності не тільки за змістом, а й за методами їх розв'язання;
- рефлексії як відображення дидактичної функції прикладної задачі полягає в тому, що в СПЗ є завдання, в яких:

- а) виявляється потреба до узагальнення і систематизації математичних фактів;
- б) можливе введення нового математичного поняття;
- в) розробляється або демонструється певний математичний прийом чи метод.

Таким чином, математичне моделювання в освітньому процесі — це не тільки регулярне виконання практичних завдань з математики, а й насамперед реальні життєві та математичні задачі, пов'язані із застосуванням знань та пошуком розв'язку або

розв'язків. Розв'язування прикладних задач за відомими правилами (алгоритмами) доцільно на початку вивчення відповідних дисциплін. Після завершення курсу очікується, що студенти будуть здатні до моделювання більш складних задач професійної спрямованості. При цьому розв'язування прикладної задачі — це сукупність: 1) моделі розв'язання, 2) питань, що виникають під час цього процесу і 3) додаткових умов (рис. 1.6.2).



Рис. 1.6.2. Спрощений підхід до розв'язання прикладної задачі

Наприклад, при вивченні диференціальних рівнянь можна запропонувати студентам різних напрямів (математика, комп'ютерні науки, економічні спеціальності) задачу, розв'язувати яку вони будуть по-різному.

*Задача № 4.* Інвесторами прийнято рішення підтримати підприємство. Протягом року на рахунок підприємства неперервно будуть надходити кошти. Можна вибрати одну зі схем інвестиційної підтримки:

- перераховані кошти рівномірно зростають і до кінця року досягнуть деякого фіксованого значення;
- кошти рівномірно витрачаються від даного фіксованого значення до нуля на кінець року.

Яка із запропонованих схем приведе до випуску більшого обсягу продукції, якщо відомо, що за умови старіння обладнання коефіцієнт вибуття фондів за рік дорівнює 2, а показник повертання інвестицій за цією галуззю складає 40 %?

Студенти економічних спеціальностей можуть самі запропонувати схеми інвестиційної підтримки, а студентам математичних чи IT-спеціальностей слід більше зосередитись на застосовуванні математичних методів до побудови моделі та спеціалізованих прикладних програм.

Для студентів комп'ютерних наук та студентів, що займаються дослідженнями у фізіології медицини, можна запропонувати таку задачу (для перших важливим буде з'ясування особливостей застосування обчислювальних методів, для других — використання математичних інструментів).

*Задача № 5.* Математичну модель імунітету [7] у загальному вигляді можна записати таким чином. Нехай  $V$  — кількість антигенів,  $m$  — відносна характеристика ураженого органа,  $F$  — концентрація антитіл,  $C$  — концентрації плазматичних клітин. Тоді динаміка процесу імунодефіциту матиме вигляд:

$$\frac{dV}{dt} = (\beta - \gamma \cdot F) \cdot V, \quad \frac{dC}{dt} = \xi(m) \cdot \alpha \cdot F(1 - \tau) \cdot V \cdot (t - \tau) - \mu_C(C - C^*)$$

$$\frac{dF}{dt} = \rho C - (\mu_f + \eta \cdot \gamma \cdot V) \cdot F, \quad \frac{dm}{dt} = \sigma \cdot V \cdot (1 - m) - \mu_m m,$$

а критерій самоорганізації:

$$\int_t^{t+\Delta t} [\rho_1 \sum_{i=1}^n \lambda_i (G_i O_2(\xi) - q_i O_2(\xi))^2 + \rho_2 \sum_{i=1}^n \lambda_i (G_i CO_2(\xi) + q_i CO_2(\xi))^2 + \rho_3 \sum_{i=1}^n \lambda_i (G_i N_2(\xi))^2 + \rho_4 f_k^2(m(\xi), V(\xi))] d\xi,$$

де  $f_k(m(\xi), V(\xi))$  — функція, що характеризує ступінь ураження вірусами органа-мішені  $k$ -того тканинного резервуару;  $\rho_4$  — коефіцієнт, який характеризує ступінь впливу типу захворювання, що моделюється, на рівень газового гомеостазу, де  $G_i O_2(\xi)$ ,  $G_i CO_2(\xi)$ ,  $G_i N_2(\xi)$  — потоки кисню, вуглекислого газу та азоту через капілярно-тканинні мембрани  $i$ -тої тканини на момент часу  $\xi$ ,  $q_i O_2(\xi)$ ,

$q_i, CO_2(\xi)$  — швидкості утилізації кисню та виведення вуглекислого газу з  $i$ -тої тканини, коефіцієнти  $\lambda$  характеризують життєву значущість органа, а коефіцієнти  $\rho$  є коефіцієнтами чутливості організму до гіпоксії, гіперкапнії та надлишку азоту.

Сучасний процес математичного моделювання складно реалізувати без комп'ютерів. Комп'ютерне моделювання суттєво розширює галузі застосування моделювання та забезпечує всебічний аналіз отриманих результатів. Цифрові інструменти часто використовуються, наприклад, для обробки моделей із багатьма змінними та складними функціями, зменшення розрахункових зусиль, імітації модельованого явища або процесу тощо. Вони можуть виконувати низку завдань у навчанні моделювання, зокрема експериментування та дослідження. Симулятори, які дадуть змогу здійснювати експерименти із моделями, призначені для надання уявлення про реальну систему, представлену в моделі, або в самій моделі. Для цього використовуються різноманітні інструментальні програмні засоби та середовища (Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple та ін.), за допомогою яких студенти зможуть зробити ці оцінки в розумні терміни. Наприклад, реальна ситуація може бути перенесена на геометричну модель, яку можна дослідити із використанням програм динамічного геометричного середовища.

Прикладне математичне моделювання, виконане комп'ютером, можна вважати етапом циклу моделювання, в якому тестується і перевіряється чисельна модель, розроблена з математичної моделі, обчислення або оцінка чисельних чи алгебраїчних рішень, порівняння їх з результатами вимірювань тощо. Крім того, цифрові інструменти можуть виконувати візуалізацію безпосередньо при викладанні дисципліни. Наприклад, наведені дані можуть бути представлені в системі координат за допомогою системи комп'ютерної алгебри або програми статистики.

Особливо корисно використання комп'ютера при імітаційному моделюванні, яке є частковим випадком математичного моделювання. Під терміном «імітаційне моделювання» («імітаційна модель») зазвичай мають на увазі обчислення значень характеристик процесу або об'єкта, який неможливо чи дуже складно описати аналітично. Імітаційні моделі належать до класу моделей, які є систе-

мою співвідношень між характеристиками описуваного процесу. Останній розвивається в часі шляхом відтворення його перебігу на комп'ютері за допомогою математичної моделі, причому отримати необхідні результати іншими способами або неможливо, або вкрай складно. Найбільш популярними пакетами імітаційного моделювання є: Arena компанії “Rockwell Automation”; AnyLogic компанії “XJ Technologies”; GPSS World фірми “Minuteman Software”.

Як було зазначено, математичне моделювання та комп'ютерна реалізація математичних моделей сьогодні є необхідною складовою математичної освіти студентів закладів вищої освіти різних спеціальностей. Проте, враховуючи комплексність та складність цієї компетентності, постає проблема релевантного оцінювання рівня її сформованості. Програмні результати навчання після вивчення курсу моделювання мають включати:

- майстерність застосування окремих компонентів процесу моделювання;
- майстерність застосування всього процесу моделювання;
- здатність ефективно і належним чином сформулювати висновки;
- здатність застосовувати відповідні програмні засоби для побудови, аналізу, дослідження моделі.

Також важливими є здатність до аналізу і синтезу, вміння працювати в команді, розвиток наполегливості тощо.

Не всі названі результати можуть бути легко кількісно оцінені. Тим більше, що студенти протягом заняття чи іспиту не встигнуть побудувати повноцінну модель — дійсно значуща проблема моделювання вимагає часу. Тому необхідно чітко визначати, що саме планується оцінювати в цей момент. Наприклад, щоб виявити здатність студентів оцінювати припущення, можна визначити проблему, модель і список можливих припущень. Тоді студенти вибирають лише ті припущення, які мають відношення до проблеми або моделі. Вищий рівень знань і вмінь демонструватимуть студенти, здатні обґрунтувати запропоновані припущення тощо. Для того щоб оцінити здібності студентів у виборі адекватної моделі, можна окреслити їм проблему, навести дані та кілька математичних моделей, а потім запропонувати проранжувати моделі та пояснити свої міркування. Оскільки процес моделювання найкраще здійснюється в групах, саме групові проекти із самооцінюванням

та взаємооцінюванням студентами своїх навчальних досягнень можуть бути оптимальними умовами для відпрацювання майстерності.

Процес моделювання може бути непростю справою, особливо для студентів, які раніше ніколи цим не займалися. Тому необхідно заохочувати їх ставити запитання, обмірковувати, звертатись до попереднього досвіду. Ефективним є надання студентам конкретних рекомендацій щодо аналізу й оцінки власної моделі, порада бути конкретними та вдумливо ділитися своєю роботою з іншими. У *табл. 1.6.2* подано можливі рекомендації для студентів, наведені в «Керівництві з оцінювання та інструктажу з навчального математичного моделювання» (GAIMME) [1].

Таблиця 1.6.2

#### РЕКОМЕНДАЦІЇ СТУДЕНТАМ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОДЕЛЮВАННЯ

Компонент моделювання	Питання про модель і дії при її побудові	Моделльно-зв'язаний лексичний будівник
Визначення проблеми	Яку конкретно проблему (задачу) вирішує ваша модель?	Конкретний, фокус
Підготовка	Що ви припустили для вирішення проблеми? Чому ви зробили такий вибір?	Припущення, передбачення
Визначення змінних	Де ви знайшли дані, які використовували у своїй моделі?	Ресурси, цитати
Отримання рішення	Які рисунки, схеми чи графіки можуть допомогти зрозуміти вашу інформацію, модель та результати?	Діаграма, графік, мітки
Аналіз і оцінка моделі	Звідки ви знаєте, що у вас хороша / корисна модель? Чому ваша модель має сенс?	Тестування, перевірка
Результати звітності	Які найважливіші речі для розуміння вашої аудиторії / клієнта щодо вашої моделі та / або рішення?	Клієнт, аудиторія



На останок слід зазначити, що у моделюванні немає єдиної правильної відповіді. Деякі підходи, відповіді та засоби є кращі, ніж інші, у той час як два дуже різних підходи можуть в кінцевому підсумку продемонструвати аналогічний рівень компетентності моделювання. З одного боку, це вимагає високого фахового рівня викладача та ускладнює процес оцінювання, з іншого — відкриває простір для творчості та залученості студентів до процесу навчання.

**Висновок.** Моделювання прикладних задач у поєднанні з математичними та базовими дисциплінами сприяє, насамперед, поліпшенню фундаментальної підготовки фахівців, яка значною мірою визначає кваліфікаційний рівень спеціаліста, що є конкретним проявом інтеграційних процесів, які відіграють важливу роль у підвищенні практичної підготовки студентів. Здатність до математичного і комп'ютерного моделювання має велике значення для формування системності знань студентів, розкриття механізмів відповідних об'єктів явищ і процесів, у тому числі й тих, що ми не можемо продемонструвати в реальних умовах. Також воно є надзвичайно важливим полем навчальної діяльності студентів різних спеціальностей. Автоматизація експериментів, модельні дослідження, математична обробка результатів та обчислювальні задачі є тими галузями, де може бути застосоване моделювання майбутнім фахівцем у його професійній діяльності.

*Подяка.* Дослідження, результати якого викладені в статті, частково здійснено в рамках проекту «Партнерство для навчання та викладання математики в університеті» (PLATINUM) програми ЄС Еразмус + КА203 — Стратегічне партнерство для вищої освіти, 2018-1-NO01-КА203-038887. Ця стаття відображає лише погляди авторів, і Єврокомісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, вміщеної в розвідці.

## ДЖЕРЕЛА

1. GAIMME: *Guidelines for Assessment and Instruction in Mathematical Modeling Education*, Second Edition, Sol Garfunkel and Michelle Montgomery, editors, COMAP and SIAM, Philadelphia, 2019. URL: <https://www.siam.org/Publications/Reports/Detail/guidelines-for-assessment-and-instruction-in-mathematical-modeling-education>
2. Чанг Н.В. Прикладная направленность обучения элементам математического анализа: дис. ... канд. пед. наук. Москва, 1984. 141 с.
3. Икрамов Д. Математическая культура. Ташкент: УкиТУВЧИ, 1995. 277 с.
4. Biembengut, Maria Salett, Hein, Nelson. *Modelagem Matemática no ensino*. São Paulo: Contexto, 2000. 12 p.
5. Математика и кибернетика в экономике / под. ред. Федоренко Н.П. Москва: Экономика, 1975. 58 с.
6. Blum, W., & Ferri, R. B. Mathematical modelling: Can it be taught and learnt. *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 2009. 1(1). P. 45–48.
7. Aralova N., Klyuchko O., Mashkin V., Mashkina I., Semchik T. Mathematical modelling of immune processes and its application. *Biotechnologia Acta*. 2020. V. 13, No 5, P. 5–18. DOI: 10.15407/biotech13.05.005.

## 1.7. ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТУДЕНТІВ ЕКОНОМІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

**Оксана Глушак, Світлана Семеняка**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

В умовах модернізації освітнього процесу в закладах вищої освіти та постійного вдосконалення, згідно з вимогами розвитку інформаційного суспільства, важливою проблемою є розвиток навчально-методичних систем, що створюють підґрунтя для необмеженого доступу всіх суб'єктів навчання до інформаційних освітніх ресурсів. У контексті сучасного розвитку економіки України особлива увага приділяється розв'язанню складних теоретико-прикладних задач, які кількісно та якісно описують взаємозв'язки між різними економічними об'єктами. Це зумовлює необхідність розробки та вивчення нових напрямів економічної теорії та пов'язаних з нею наукових дисциплін. Насамперед виникає потреба у розвитку й упровадженні навчальних технологій та інноваційних методів навчання, застосування яких дало б можливість сформувати у студентів нове економічне мислення та розуміння сутності економічних процесів чи явищ, отримати відповідні вміння і навички щодо регулювання та керування цими процесами на будь-якому рівні складності, прогнозувати їх розвиток. У зв'язку з цим важливого значення набуває формування та розвиток компетентностей, пов'язаних з умінням оптимально поєднувати можливості логічного аналізу зі знаннями законів математики, економіки, основ математичного моделювання.

Математичне моделювання при максимальному використанні його потенціалу дає можливість виявити та вирішити професійні проблеми різного характеру: чітко визначати мету дослідження, швидко знаходити можливі варіанти її досягнення, розробляти відповідні моделі економічних об'єктів чи явищ і на основі їх створювати ефективні алгоритми й програми оптимальних шляхів розв'язання актуальних задач.

Студент, який володіє навичками математичного моделювання, стає універсальним спеціалістом — математиком, алгоритмістом, розробником та виконавцем власних проєктів, що завдяки багатовекторності своїх знань і вмінь успішно долає перешкоди у своїй професійній діяльності.

Цілком очевидно, що математика в системі вищої економічної освіти переросла статус загальноосвітньої дисципліни і має стати на основі міжпредметних зав'язків зі спеціальними дисциплінами невід'ємною складовою професійної підготовки.

У зв'язку з цим набуває актуальності вирішення протиріч між потребами сучасної економіки у висококваліфікованих спеціалістах, які ефективно використовують математичний інструментарій у своїй професійній діяльності, і недостатністю науково-методичного забезпечення практико-орієнтованої математичної підготовки студентів.

Дослідження питання економіко-математичного моделювання стало предметом пошуків як вітчизняних, так і закордонних науковців. Так, наприклад, у роботі О. Іващука [1] викладено методологічні основи економіко-математичного моделювання, розкрито інструментарій кількісної оцінки економічних процесів, наведено алгоритми прийняття вигідних управлінських рішень в умовах ризику й невизначеності, їх застосування у виробництві, економіці, фінансово-кредитній системі й бізнесі. С. Наконечний та ін. [2] зосередив свою увагу на розкритті основних методів оцінювання параметрів економетричних моделей з урахуванням особливостей економічної інформації.

У докторській дисертації Л. Ільч [3] використовувала економетричну модель множинної регресії для аналізу структурних зрушень у сфері зайнятості як на регіональному рівні, так і по Україні в цілому. Останні досягнення в економетричному моделюванні та методах прогнозування попиту на туризм висвітлено у наукових пошуках Н. Hilaly та Н. El-Shishiny [4]. У відповідному дослідженні представлено аналіз економетричних моделей, що використовуються при моделюванні та прогнозуванні туристичного попиту, продемонстровано переваги та недоліки кожної з них.

Досить цікавим, на нашу думку, є застосування економетричного моделювання для аналізу корупції, здійснене когортою бухгалтерських дослідників Т. Andrei, S. Stancu, M. Nedelcu, A. Matei [5].

Науковці розглянули різні моделі регресійних і одночасних рівнянь, які характеризують залежність рівня корупції від низки факторів, таких як тиск політичної системи, прозорість адміністрації, ставлення державних службовців до роботи.

До питання формування фахових компетентностей звернувся у своїх роботах О. Лисак [6]. Зокрема, на основі узагальнення літературних джерел з проблеми дослідження ним визначено структуру професійних компетентностей (ПК) майбутніх економістів та її складові компоненти.

Впровадження цифрових технологій в освітній процес досліджують В. Биков, О. Спирін [7], С. Литвинова [8], О. Мерзликін [9], Н. Морзе [10] та ін. У своїх роботах науковці визначають актуальні завдання розроблення комп'ютерно орієнтованих методичних систем навчання, створення та використання електронних освітніх ресурсів, середовища неперервного розвитку ІКТ-компетентності суб'єктів освітнього процесу, здійснення педагогічних досліджень з інформатизації освіти. Висвітлюють дослідження ІКТ-компетентностей студентів та їхньої здатності використовувати інформаційні та комунікаційні технології для здійснення інформаційної діяльності у своїй професійній галузі; розглядають особливості формування якісного сучасного хмаро орієнтованого персоналізованого освітнього середовища, враховуючи ІКТ-компетентність учасників навчального процесу.

Крім того, закордонний досвід впровадження ІКТ в освітній процес засвідчує підвищення якості освіти. Так, за результатами найбільшого системного аналізу 225 досліджень, які було проведено серед студентів ЗВО, визначено, що успішність майбутніх фахівців при активному навчанні зросла на 47 %, зокрема середній бал успішності студентів покращився на 6 % [11]. Слід зазначити, що впровадження ІКТ в освітній процес під час навчання економетричного моделювання робить акцент саме на активному навчанні.

Цікавим для нашого дослідження є досвід використання електронних навчальних курсів (ЕНК). Так, С. Brooke, Р. McKinney та А. Donoghue зазначають [12, 614], що студенти, які користуються електронним навчальними курсами на платформі дистанційного навчання, раціональніше використовують власний час, виділений на навчання.

Як бачимо, реалізовані дослідження спрямовані або на побудову та аналіз визначених економічних проблем, або на впровадження ІКТ в освітній процес та підвищення рівня якості освіти за рахунок використання електронних навчальних курсів. Однак розгляд методичних питань навчання економетричного моделювання в поєднанні з методами математичного моделювання та ІКТ не знайшло відображення серед наукових пошуків. Тому питання реалізації завдань освітнього процесу навчання майбутніх фахівців економіко-математичного моделювання із застосуванням цифрових технологій залишається відкритим і потребує дальшого ретельного вивчення.

Метою статті є висвітлення особливостей впровадження цифрових технологій в освітній процес навчання економіко-математичного моделювання студентів економічних та математичних спеціальностей.

Вважаємо, що для реалізації завдання якісної підготовки студентів, які вивчають економіко-математичне моделювання в межах дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання», необхідно впроваджувати ІКТ у двох напрямках: для організації освітнього простору та у процесі розв'язування прикладних задач, які перебувають на стику галузей економіки та математики.

Передумовою організації освітнього простору є наявність необхідної матеріально-технічної бази (комп'ютери, програмне забезпечення, канали зв'язку) та інформаційного освітнього середовища, ефективність й основу якого становлять засоби ІКТ. Інформаційно-освітнє середовище у психолого-педагогічній літературі трапляється в різних варіантах, а саме: «комп'ютерне середовище», «інноваційно-розвивальне середовище», «єдине освітнє інформаційне середовище», «інформаційно-навчальне середовище», «комп'ютерно-навчально-розвивальне середовище» [13, 220].

За педагогічним словником С. Гончаренка, інформаційно-навчальне середовище — це сукупність умов, які сприяють виникненню і розвитку процесів інформаційної взаємодії між студентами, викладачем та засобами інформаційних технологій, формують пізнавальну активність студента за умов наповнення компонентів середовища з предметним змістом певного навчального курсу [14, 220].

Наукові розвідки свідчать про те, що умовою здійснення ефективної навчальної діяльності в інформаційному освітньому середо-

вищі є наявність відповідного комп'ютерно орієнтованого навчального забезпечення [13, 220].

Вважаємо, що інформаційно-освітнє середовище може бути організоване за рахунок діяльності викладача із використанням низки цифрових інструментів, таких як ресурси для спільної роботи, ресурси для проведення відеоконференції та електронного навчального курсу предметів, спрямовані на навчання економіко-математичного моделювання, на базі платформи дистанційного навчання. У Київському університеті імені Бориса Грінченка впроваджено в освітній процес платформу дистанційного навчання Moodle. Тому електронні курси дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання» представлено саме на її базі.

На початку вивчення дисципліни студенти на віртуальній дошці розміщують відповіді на запитання викладача: «Які очікування у вас від дисципліни?», «Що ви вже знаєте з предмета?», «Що ви хочете дізнатися?». Приклад відповідей студентів представлено на *рис. 1.7.1*.

Електронні навчальні курси дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання» мають уніфіковану структуру: загальні відомості про дисципліну (робоча програма навчальної дисципліни, тематичний план, критерії оцінювання, друківані джерела та інтернет-ресурси, глосарій); змістові модулі, які включають відомості про основні теми модуля, теоретичний матеріал у вигляді структурованого лекційного матеріалу, поданого засобом «урок», мультимедійних презентацій лекцій, аудіо- й відеонавчальних матеріалів та тестів (навчального й контрольного); лабораторні роботи, в яких відображається зміст роботи, список індивідуальних завдань та методичні рекомендації з виконання роботи; завдання для самостійної роботи з методичними вказівками до їх виконання, список індивідуальних завдань та критеріїв для їх оцінки; завдання для модульної контрольної роботи, що передбачає виконання індивідуальних завдань та критерії оцінювання виконаної роботи [15].

Кожен з означених блоків ЕНК сприяє реалізації окремих завдань. Так, теоретичний матеріал побудовано таким чином, щоб студент, який пропустив заняття, з легкістю зміг опанувати навчальний матеріал, а студент, який був в аудиторії на занятті, зміг системати-

зувати отриманий матеріал, перевірити себе на розуміння та сприйняття теми за допомогою тестів, вбудованих у лекції. За наявності запитань студенти мають можливість їх поставити на форумі обговорення запитань з теми кожного змістового модуля.

Оксана Михайлівна Глушак + 28 · 3 місяці

### Очікування від курсу "Економетрія"

Очікування	Знаю	Хочу дізнатися
+	+	+
Вижити	Нічого	Як добре скласти залік
Отримати нові цікаві знання	Трішки вищу математику	Як застосовувати економетрику в житті, а саме на роботі
Гарне пояснення та взаєморозуміння	На даний момент нічого	Як розв'язувати задачі
Детальне й зрозуміле пояснення лекцій	Нічого	Наскільки ця дисципліна буде корисна для мене як менеджера
Новий тип задач та рішень	Знаю	Вивчити цей предмет
Дізнатися, що це таке!	Нічого	Задачі будуть????
Отримати максимум знань з цієї дисципліни	Нічого	Суть даної дисципліни
Дізнатися для чого дисципліна в майбутньому для фінансиста, практичне використання	Нічого	Наскільки багато треба працювати
	Нічого	Усе
	Нічого не знаю	

Рис. 1.7.1. Спільна діяльність студентів із використанням віртуальної дошки Padlet

Робота з теоретичним матеріалом передбачала використання низки цифрових інструментів. Наприклад, відповіді на запитання з теоретичного матеріалу студенти записували у вигляді



відеопояснень (як-от, відеовідповідь на запитання: «Специфікація: означення, суть процесу; кореляційне поле» доступна для перегляду за посиланням: <https://drive.google.com/file/d/1IsfTAOZn0GEdI9wj2lu6b7U8V4IswNsL/view>).

На нашу думку, доволі корисним для спільної діяльності та швидкої комунікації викладача і студентів під час опрацювання теоретичного матеріалу є використання віртуальної дошки Padlet (<https://uk.padlet.com>), до якої можна додавати різні типи даних: текст, посилання на ресурси мережі «Інтернет», графічне зображення, відео, файл з комп'ютера тощо. (На *рис. 1.7.2* наведено приклад формулювання запитання до зображення.)

**Сформулюйте по 2 запитання до зображення**  
Дисципліна: "Економетрія" Тема: "Побудова та аналіз найпростішої економетричної моделі"



**1. Як можна описати залежність між змінними?**  
**2. Який тип взаємозв'язку між змінними?**

**1. За якою теорією можна визначити коефіцієнт на цих малюнках?**  
**2. На якому з малюнків значення буде найменшим?**

**1) Чи можна сказати, що дана модель нелінійна?**

**Коряк Олена**  
**1. В якому з варіантів коефіцієнт  $R^2$  буде більшим?**  
**2. Якою буде залежність між змінними на малюнках, та як називається рівняння, яким ця залежність описана?**

**а) Яке рівняння можна**

**1. Яке значення мають коефіцієнти кореляції на малюнках?**

**1. У чому полягає різниця рис. а і б?**  
**2. Підберіть регресивне рівняння до рис. б.**

*Рис. 1.7.2.* Спільна діяльність студентів із використанням віртуальної дошки Padlet

Так, до ресурсів ЕНК включено посилання на ментальні карти, за допомогою яких студенти мають можливість створювати конспекти лекцій (*рис. 1.7.3*).

На нашу думку, для кращого засвоєння студентами навчального матеріалу буде ефективно, якщо вони сформулюють запитання до вивченої теми у вигляді тестів. Тому їм було запропоновано після розгляду теми «Дослідження на мультиколінеарність» за допомогою ресурсу Google Форми (<https://docs.google.com/forms>) створити тест до вивченого матеріалу (*рис. 1.7.4*).

Доцільно для розуміння того, як студенти сприйняли теоретичний матеріал, організувати їхню діяльність за допомогою ресурсу Форум ЕНК. Так, їм було запропоноване таке завдання: «Опрацювати

матеріал лекції 5 та сформулювати по 2 запитання до неї в 3 категоріях (легкі, середньої складності та складні)». Всі запитання студенти розміщували у форумі (рис. 1.7.5)

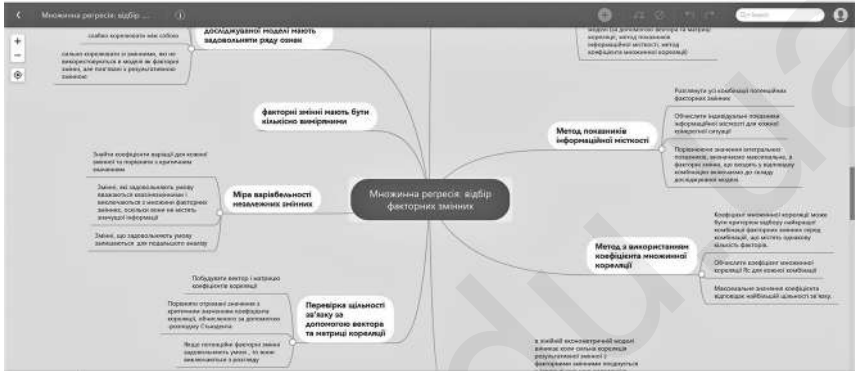


Рис. 1.7.3. Приклад конспекту лекції на тему «Множинна регресія: відбір факторних змінних» (<https://www.mindmeister.com/>)

### Тест "Мультиколінеарність"

Електронну адресу в [info@ukf.edu.ua](mailto:info@ukf.edu.ua) ви не буде відомою під час надання цієї форми. Чи не ви? [Знайти електронну адресу](#)

\*Обов'язкове поле

Вкажіть метод виявлення мультиколінеарності? \* 1 бал

Ефект каталогу  
 Метод інформаційної якості  
 Алгоритм Фарра-Глобера  
 Обчислення показник детермінації  
 Інше

Які ознаки має мультиколінеарність? \* 1 бал

велике значення коефіцієнту детермінації поряд з незначущою коефіцієнта моделі  
 велике значення парних коефіцієнтів кореляції незалежних (факторних) змінних  
 варіабельність  
 низький показник згодності між факторними змінними  
 наявність лише двох факторних змінних

Які наслідки має мультиколінеарність? \* 2 бали

### Мультиколінеарність

Електронну адресу в [info@ukf.edu.ua](mailto:info@ukf.edu.ua) ви не буде відомою під час надання цієї форми. Чи не ви? [Знайти електронну адресу](#)

Мультиколінеарність, фактори: 1 бал

негативно впливає на економічну модель  
 позитивно впливає на економічну модель  
 ніс: \_\_\_\_\_

Мультиколінеарність виникає тоді, коли: 1 бал

Незалежні змінні корельовані між собою  
 Незалежні змінні не корельовані між собою

Які статистичні критерії досліджують наявність мультиколінеарності? 2 бали

Т-критерій Стюдента  
  $t^*$ -критерій  
 F-критерій Фішера  
 Вісі досліджують  
 жоден не досліджують

Рис. 1.7.4. Приклади розробок тесту до теми «Дослідження на мультиколінеарність» за допомогою Google Форми

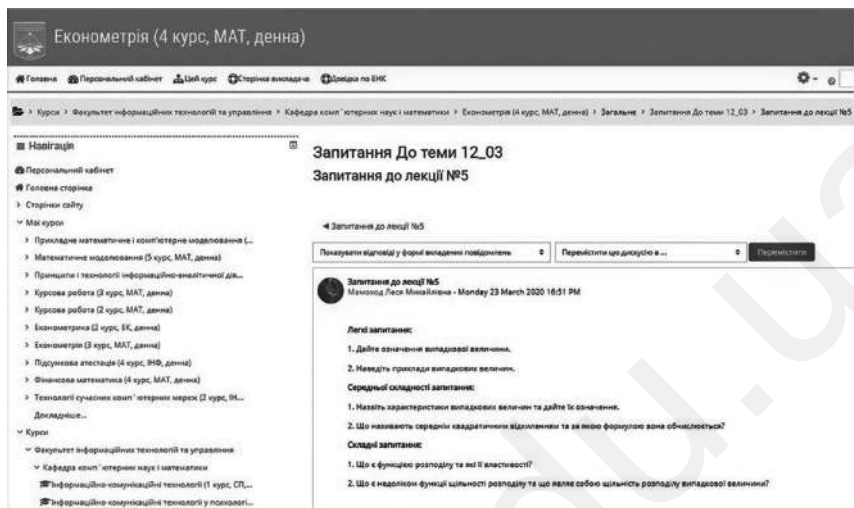


Рис. 1.7.5. Приклади використання форуму ЕНК для опрацювання теоретичного матеріалу

Лабораторні роботи у ЕНК представлені у вигляді вебсторінок із загальною структурою: тема, мета, завдання, форма подання результатів, терміни виконання, критерії оцінювання та навчально-методичні матеріали, з якими рекомендовано ознайомитися. Це, зокрема, методичні рекомендації до виконання завдань, запитання для підготовки до лабораторних робіт, покрокові алгоритми виконання завдань, приклади побудови та дослідження моделей. Окрім того, блок лабораторних робіт містить навчальні відео для виконання завдань з протоколу лабораторної роботи.

Для візуалізації теоретичного матеріалу та провадження дослідницько-орієнтованого підходу в навчанні під час виконання лабораторних робіт вважаємо за доцільне використовувати ресурси порталу Go-Lab (<https://www.golabz.eu/>). Останній дає змогу викладачеві працювати з базою готових лабораторій та навчальних просторів (ILS), а за допомогою інструмента Graasp (<https://graasp.eu/>) створювати власні освітні простори, користуватися службою підтримки проекту.

Так, готовим ресурсом з теми «Парна лінійна регресія» є Least-Squares Regression, доступний за посиланням: <https://www.golabz>.

eu/lab/least-squares-regression (рис. 1.7.6). Викладач, використовуючи останній, показує студентам вибірку, далі, змінюючи значення коефіцієнтів теоретичного рівняння регресії за допомогою повзунка, демонструє, як відбувається наближення за допомогою прямої, як вивести на екран похибки, їх квадрати та показати на екрані зміну значення суми квадратів похибок. Крім цього, праворуч розташоване вікно, в якому можна відобразити найоптимальніше рівняння моделі парної лінійної регресії із відображенням похибок, квадратів похибок та коефіцієнта кореляції.

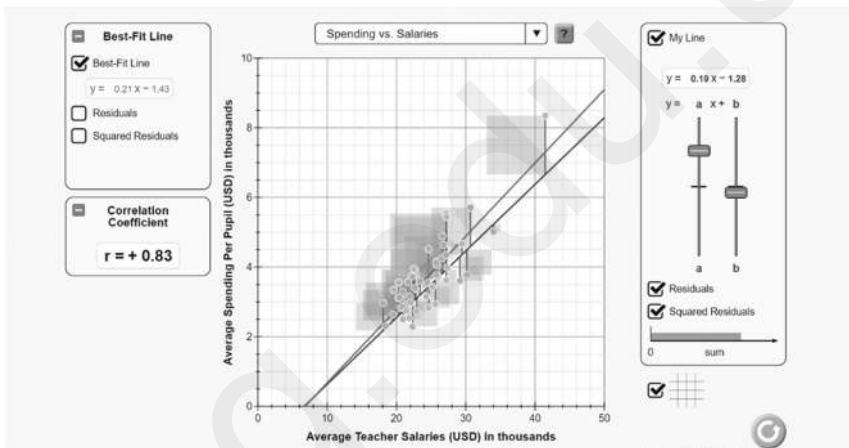


Рис. 1.7.6. Лабораторія “Least-Squares Regression”

Після завершення заняття студенти на віртуальній дошці проводять рефлексію: оцінюють власний прогрес, демонструють своє розуміння матеріалу та здобуті навички, порівнюють власні судження з думками інших, формулюють нові запитання, які заглиблюють у поняття чи тему (рис. 1.7.7).

Для самоперевірки студентів заплановано блок завдання для самостійної роботи, який передбачає індивідуалізовані завдання для кожного, методичні рекомендації до їх виконання, контрольні запитання.

На завершення вивчення кожного модуля студентам економічних та математичних спеціальностей пропонується модульна



Рис. 1.7.7. Приклад рефлексії студентів після вивчення теми «Відбір факторних змінних»

контрольна робота. Форма її проведення для кожного змістового модуля може бути різною: або комплексний тест, який передбачає відповіді на 40 запитань різного типу (багатоваріантні, альтернативні, з короткою відповіддю, числові, запитання на встановлення відповідності), або побудова та дослідження економіко-математичної моделі за індивідуальним набором вхідних даних.

На нашу думку, такий методичний підхід до подання навчального матеріалу із використанням ІКТ для побудови електронного освітнього середовища сприятиме розвитку мотивації студентів до вивчення дисципліни, впровадженню системного підходу до засвоєння навчального контенту та реалізації принципів особистісно орієнтованого підходу. За рахунок використання ЕНК під час вивчення дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання» викладач зможе організувати індивідуальну, групову та фронтальну форми роботи студентів.

Другим напрямом впровадження ІКТ у процес навчання економіко-математичного моделювання студентів економічних та математичних спеціальностей є демонстрація ІКТ як інструментарію для побудови й дослідження економетричних моделей. Розглянемо це більш детально на прикладі задачі залежності рівня зайнятості населення України від впливу таких факторів:

- 1) частки штатних працівників з вищою освітою у % до облікової чисельності;
- 2) темпу зростання продуктивності праці;
- 3) темпу зростання середньої заробітної плати;
- 4) індексу капітальних інвестицій;
- 5) коефіцієнта покриття експортом імпорту.

Задачу розв'яжемо за допомогою прикладного програмного забезпечення загального призначення MS Excel.

Першим етапом для побудови та дослідження економетричної моделі є ідентифікація змінних. За результатами ідентифікації отримуємо:

$Y$  — рівень зайнятості населення України;

$X_1$  — частка штатних працівників з вищою освітою в Україні;

$X_2$  — темп зростання продуктивності праці в Україні;

$X_3$  — темп зростання середньої заробітної плати в Україні;

$X_4$  — індекс капітальних інвестицій в Україні;

$X_5$  — коефіцієнт покриття експортом імпорту в Україні.

Специфікація моделі є другим етапом побудови, що передбачає вибір форми зв'язку  $f$  між факторними та результативною змінною. Побудову кореляційного поля залежності рівня зайнятості населення України від кожного із зазначених факторів здійснюватимемо за допомогою точкової діаграми у MS Excel (рис. 1.7.8). Для визначення найкращого типу взаємозв'язку фактору з результатом будемо користуватися лінією тренду. За допомогою діалогового вікна формату лінії тренду введемо на діаграму коефіцієнт детермінації та рівняння моделі (рис. 1.7.9).

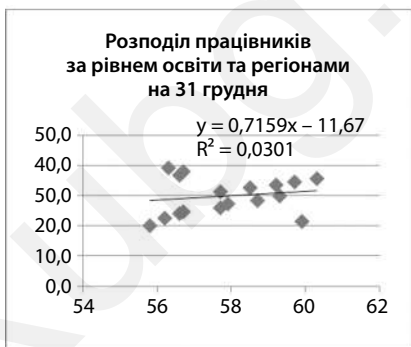


Рис. 1.7.8. Діаграма розсіювання

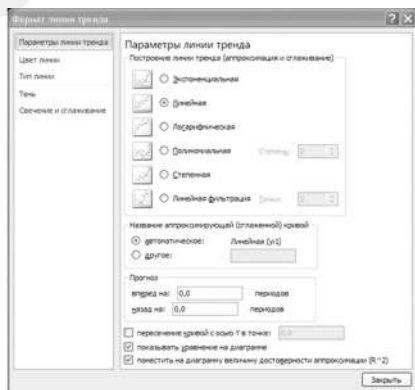


Рис. 1.7.9. Параметри налаштування лінії тренду

Порівнюючи коефіцієнти детермінації для кожного типу відповідних залежностей  $R^2$ , можемо дійти висновку про те, що найбільш

оптимальними виявилися залежності, для яких величина  $R^2$  набуває максимального значення з можливих. Отже, на основі здійсненого дослідження було встановлено існування лінійного зв'язку між відповідними факторами економетричної моделі. Звідси теоретичне рівняння множинної регресії набуде вигляду:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + u. \quad (1)$$

Наступний етап побудови моделі — параметризація, тобто знаходження оцінок параметрів  $\hat{a}_i$  ( $i = 0, 5$ ) та побудова відповідного регресійного рівняння. Цей етап можна реалізувати в MS Excel кількома способами. Перший — суто математичний. Він полягає у визначенні оцінок параметрів шляхом застосування методу найменших квадратів за допомогою чисельних розрахунків. Для цього вектор-стовпець спостережень залежної (результативної) змінної  $Y$  та матрицю спостережень незалежних (факторних) змінних  $X_i$  застосовуємо для обчислення оцінки регресійних коефіцієнтів за формулою:

$$\hat{A} = (X^T X)^{-1} \cdot X^T Y, \quad (2)$$

де  $\hat{A}$  — вектор-стовпець оцінок коефіцієнтів рівняння;  $X^T$  — транспонована матриця до матриці  $X$ ;  $(X^T X)^{-1}$  — обернена матриця до добутку двох матриць  $X^T X$ .

Для реалізації цього методу студенти повинні вміти множити матриці, шукати транспоновану та обернену матриці в MS Excel за допомогою математичних функцій МУМНОЖ (MMULT), ТРАНСП (TRANSPOSE), МОБР (MINVERSE).

Другий спосіб знаходження оцінок параметрів реалізується через надбудову «Пакет аналізу», інструмент «Регресія». Після введення діапазону, що містить набір статистичних даних залежної змінної  $Y$  (рівень зайнятості населення України) та набір спостережень незалежних (факторних) змінних  $X_i$ , MS Excel виводить на екран підсумки, в яких відображено оцінки коефіцієнтів (рис. 1.7.10).

Третій спосіб знаходження оцінок параметрів полягає у застосуванні статистичної функції ЛИНЕЙН (LINEST), яка після введення відомих значень  $Y$ ,  $X_i$ , константи та статистики виводить ре-

зультат у вигляді таблиці розмірністю 5 рядків та 6 стовпців за допомогою натискання комбінації кнопок Ctrl+Shift+Enter (табл. 1.7.1).

1	Вывод ИТГОВ								
2									
3	Регрессионная статистика								
4	Множественный R	0,501728543							
5	R-квадрат	0,25179159							
6	Нормированный R-квадрат	-0,088390501							
7	Стандартная ошибка	1,517111003							
8	Наблюдения	17							
9									
10	Дисперсионный анализ								
11		df	SS	MS	F	Значимость F			
12	Регрессия	5	8,517410372	1,703482574	0,740123213	0,009206985			
13	Остаток	11	25,31783375	2,301625795					
14	Итого	16	33,83529412						
15									
16		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
17	У-пересечение	45,72338655	8,011139005	5,70747993	0,000136679	28,09099949	63,35577361	28,09099949	63,35577361
18	Переменная X 1	0,506111339	0,309699046	1,634203741	0,130483068	-0,175531605	1,187754343	-0,175531605	1,187754343
19	Переменная X 2	-0,00002252	0,00023614	-0,095374478	0,92573268	-0,000542263	0,000497219	-0,000542263	0,000497219
20	Переменная X 3	-0,001661698	0,002012612	-0,825642346	0,426551123	-0,006091427	0,002768032	-0,006091427	0,002768032
21	Переменная X 4	0,015661933	0,023087952	0,679065482	0,511131637	-0,035101482	0,086425348	-0,035101482	0,086425348
22	Переменная X 5	-0,88628379	1,067607512	-0,830252488	0,424049231	-3,236172083	1,463404498	-3,236172083	1,463404498
23									
24									

Рис. 1.7.10. Знаходження оцінок параметрів за допомогою інструмента «Регресія» надбудови «Пакет аналізу»

Таблиця 1.7.1

### РЕЗУЛЬТАТ ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ЛИНЕЙН (LINEST)

-0,8864	0,0157	-0,0017	0,00002	0,5061	45,7234
1,0676	0,0231	0,0020	0,0002	0,3097	8,0111
0,2517	1,5171	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
0,7401	11,0000	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
8,5174	25,3179	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д

У першому рядку таблиці подано значення оцінок параметрів. Таким чином результуюче рівняння множинної регресії набуде вигляду:

$$\hat{Y} = 45,723 + 0,506X_1 - 0,00002X_2 - 0,002X_3 - 0,016X_4 + 0,886X_5. \quad (3)$$



Слід зазначити, що два останні способи знаходження оцінок параметрів, на нашу думку, доцільно використовувати лише після ознайомлення студентів з першим способом, який демонструє покрокове застосування математичного апарату для знаходження оцінок параметрів.

Наступним етапом є дослідження моделі — перевірка на адекватність, яка передбачає визначення середнього значення відносних похибок апроксимації  $A_i$ , що вимірюється у відсотках і обчислюється за формулою:

$$A_i = \left| \frac{u_i}{y_i} \right| \cdot 100\% . \quad (4)$$

Звідси,  $\bar{A} = \frac{1}{n} \cdot \sum A_i$ . Ці розрахунки студентам пропонується оформити у вигляді таблиці (табл. 1.7.2).

Таблиця 1.7.2

ТАБЛИЦЯ ДЛЯ ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКІВ

Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	$\hat{Y}$	u	u <sup>2</sup>	$\frac{u_i}{y_i}$	Y <sup>2</sup>

Знайти коефіцієнт детермінації  $R^2$  за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{S_u^2}{S_y^2} = 1 - \frac{\bar{u}^2 - \bar{u}^2}{y^2 - \bar{y}^2} . \quad (5)$$

Так, здійснивши розрахунки, отримаємо  $\bar{A} \approx 1,7\%$ ,  $R^2 = 0,888207527 \approx 0,89$ . Отже, можемо стверджувати, що побудована модель є адекватною, оскільки середнє значення відносних похибок апроксимації перебуває в межах 8–10 %. Коефіцієнт детермінації прямує до 1, а чим ближче  $R^2$  до одиниці, тим суттєвішим є зв'язок між цими змінними. Тобто зміна результативної змінної значною мірою пояснюється зміною факторної змінної і лише незначна частина змін — іншими факторами.

Останній етап дослідження моделі — перевірка на статистичну значущість. Для перевірки статистичної значущості отриманих результатів пропонуємо студентам два критерії — критерій Фішера ( $F$ -критерій) та критерій Стьюдента ( $t$ -критерій).

Перевіряючи на статистичну значущість, висуваємо дві гіпотези: нульову  $H_0: R^2 = 0$  та альтернативну до неї  $H_1: R^2 \neq 0$ . Далі обчислюємо експериментальне значення за формулами кожного з критеріїв, знаходимо табличні значення останніх при визначеній кількості ступенів вільності, порівнюємо з експериментальними значеннями. Згідно з отриманими даними доходимо відповідних висновків: якщо експериментальне значення перевищує табличне, то нульову гіпотезу відхиляють.

Слід наголосити на тому, що табличні значення за критерієм Фішера ( $F$ -критерій) та критерієм Стьюдента ( $t$ -критерій) потрібно знаходити за допомогою статистичних функцій — FРАСПОБР (FINV) та СТЬЮДРАСПОБР (TINV).

За описаним розрахунками знаходимо  $F_{\text{експ}} = 17,479$  та  $F_{\text{табл}} = 3,204$ . Оскільки  $F_{\text{експ}} > F_{\text{табл}}$ , то нульову гіпотезу відхиляємо. Отже, модель є статистично значущою.

Аналогічні результати отримуємо за критерієм Стьюдента. Так,  $t_{\text{експ}} = 9,349$  та  $t_{\text{табл}} = 2,593$ . Оскільки  $|t_{\text{експ}}| > t_{\text{табл}}$ , то нульову гіпотезу відхиляємо. Отже, модель є статистично значущою.

У ході дослідження було сформульовано такі висновки.

1. Визначено, що математичне моделювання при максимальному використанні його потенціалу дає можливість виявити та вирішити професійні проблеми різного характеру: чітко визначати мету дослідження та швидко знайти можливі варіанти її досягнення; розробити відповідні моделі економічних об'єктів чи явищ і на їх основі створити ефективні алгоритми та програми оптимальних шляхів розв'язання актуальних завдань.

2. Зазначено, що для реалізації завдання отримати якісну підготовку студентів із вивчення побудови та дослідження економіко-математичного моделювання в межах дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання» необхідно впроваджувати ІКТ у двох напрямках — для організації освітнього простору та в ході розв'язування прикладних задач, які перебувають на стику галузей економіки й математики.

Установлено, що для організації освітнього простору доцільно використовувати електронні навчальні курси дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання», які є комплексом навчально-методичних матеріалів, створених для організації індивідуального та групового навчання з використанням цифрових технологій, спрямованих на навчання економіко-математичного моделювання студентів економічних і математичних спеціальностей. Спираючись на окреслені можливості застосування ЕНК та його дидактичні функції, розроблено й висвітлено структуру електронного навчального курсу навчальних дисциплін «Економетрика», «Економіко-математичне моделювання» на базі платформи Moodle.

3. Розглянуто особливості застосування MS Excel на прикладі задачі залежності рівня зайнятості населення України від впливу вибраних факторів. Схарактеризовано різні етапи побудови та дослідження економетричної моделі: ідентифікація змінних, специфікація моделі, параметризація та перевірка на статистичну значущість отриманих результатів.

Перспективою подальших досліджень вважаємо доведення ефективності використання ІКТ для поліпшення додаткових фахових компетентностей майбутніх студентів економічних та математичних спеціальностей.

### ДЖЕРЕЛА

1. Іващук О.Т. Економіко-математичне моделювання. Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008.
2. Наконечний С.І., Терещенко Т.О. та Романюк Т.П. Економетрія. К.: КНЕУ, 2000.
3. Ільч Л.М. Структурні зрушення транзитивного ринку праці: теорія і методологія регулювання: автореф. дис. ... д-ра екон. наук: 08.00.07; НАН України, Ін-т демографії та соц. дослідж. ім. М.В. Птухи НАН України. К., 2018.
4. Hilaly H., El-Shishiny H., Recent Advances in Econometric Modeling and Forecasting Techniques for Tourism Demand Prediction URL: [https://www.researchgate.net/publication/265483757\\_Recent\\_Advances\\_in\\_Econometric\\_Modeling\\_and\\_Forecasting\\_Techniques\\_for\\_Tourism\\_Demand\\_Prediction](https://www.researchgate.net/publication/265483757_Recent_Advances_in_Econometric_Modeling_and_Forecasting_Techniques_for_Tourism_Demand_Prediction) (last accessed: 08.02.2019).

5. Andrei T., Stancu S., Nedelcu M., Matei A. Econometric models used for the corruption analysis URL: [https://mpira.ub.unimuenchen.de/19623/1/Econometric\\_Models\\_used\\_for\\_the\\_Corruption\\_Analysis.pdf](https://mpira.ub.unimuenchen.de/19623/1/Econometric_Models_used_for_the_Corruption_Analysis.pdf) (last accessed: 08.02.2019).

6. Лисак О.Б. Формування компетентностей майбутнього фахівця-економіста. URL: <http://intkonf.org/lisak-ob-formuvannya-kompetentnostey-maybutnogo-fahivtsya-ekonomista/> (дата звернення: 08.02.2019).

7. Биков В.Ю., Спірін О.М. та Пінчук О.П. Проблеми та завдання сучасного етапу інформатизації освіти. *Наукове забезпечення розвитку освіти в Україні: актуальні проблеми теорії і практики (до 25-річчя НАПН України)*. К., 2007. С. 191–198.

8. Литвинова С.Г. Поняття та основні характеристики хмаро орієнтованого навчального середовища середньої школи. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2014. № 2 (40). URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN\\_2014\\_40\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2014_40_2_5) (дата звернення: 08.02.2019).

9. Мерзликін О.В. Хмаро орієнтовані електронні освітні ресурси підтримки навчальних фізичних досліджень. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2015. № 5 (49). С. 106–120. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN\\_2015\\_49\\_5\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2015_49_5_11) (дата звернення: 08.02.2019).

10. Морзе Н. та Слівак С. Формування сучасного хмаро орієнтованого персоналізованого освітнього середовища, враховуючи ІКТ-компетентність учасників навчального процесу. *Відкрите освітнє Е-середовище сучасного університету*. 2017. № 3. С. 274–282.

11. Freeman S., Eddy S. L., McDonough M., Smith M. K., Okoroafor N., Jordt H., Wenderotha M. P. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *PNAS*. 2014. Vol. 111 (23). P. 8410–8415. URL: [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1319030111](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1319030111) (last accessed: 08.02.2019).

12. Brooke C., McKinney P. and Donoghue A. Provision of distance learner support services at U. K. Universities: Identification of best practice and institutional casestudy. *Library Trends*. 2013. Vol. 61(3). P. 23.

13. Сисоєва С.О. та Батечко Н.Г. Вища освіта України реалії: сучасного розвитку. К.: ВД ЕКМО, 2011.

14. Професійна освіта: словник / уклад. С.У. Гончаренко та ін.; за ред. Н.Г. Ничкало. К.: Вища шк., 2000.

15. Бодненко Д.М., Глушак О.М. та Семеняка С.О. Формування інформатичної компетентності майбутніх фінансистів під час вивчення дисципліни «Економетрика». *Освітологічний дискурс*. 2018, № 1–2 (20–21). С. 325–340.

## 1.8. СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВИЩОЇ ОСВІТИ (НА РІВНІ ВИКЛАДАЧА)

**Галина Скоробрещук**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

Результати соціологічного дослідження «Реформування вищої освіти» (2015) засвідчили, що питання якості вищої освіти на сьогодні залишається актуальним для України. Згідно з результатами опитування, 32,2 % респондентів вважає це найбільш серйозною проблемою в українських закладах вищої освіти (далі — ЗВО) [1, 7]. Суттєвою перепорою на шляху вдосконалення вищої освіти, як зазначено в аналітичному дослідженні «Розвиток системи забезпечення якості вищої освіти в Україні: інформаційно-аналітичний огляд», є брак апробованих у національній практиці інструментів забезпечення якості, а також обмежене використання процедур внутрішнього забезпечення якості, які перебувають на стадії формування.

Отже, рівень і значення якості вищої освіти та розвиток інституційних механізмів, що забезпечують її якість, є пріоритетним у системі загальнодержавної освітньої політики [2, 124].

Незважаючи на позитивний вплив сучасних інформаційно-комунікаційних технологій (далі — ІКТ) на якість освітнього процесу у вигляді підвищення рівня останнього, науковці спостерігають слабе їх впровадження в Україні [3, 123]. Тому заклади вищої освіти шукають інструменти для забезпечення високоякісної підготовки фахівців. Вирішення цієї проблеми має велике значення для підвищення рівня діяльності ЗВО і, як наслідок, забезпечення якісної вищої освіти. На сьогодні, як обґрунтовують міжнародні експерти й вчені, одним із таких інструментів для розв'язання поставлених перед педагогічною наукою завдань є впровадження та використання викладачами новітніх ІКТ у систему забез-

печення якості. Адже, сучасними світовими тенденціями в освіті є, зокрема, запровадження нових засобів та методів навчання, орієнтованих на використання новітніх ІКТ, модифікація змісту діяльності викладача, що передбачає високий рівень відповідної підготовки та створення у ЗВО потужної інформаційної інфраструктури з розвиненим інформаційно-комп'ютерним навчальним середовищем [4].

Використання ІКТ сприяє удосконаленню форм і змісту освітнього процесу, впровадженню комп'ютерних методів навчання та тестування, що надають можливість вирішувати проблеми якості освіти з урахуванням світових вимог [5]. Активне та ефективне впровадження сучасних ІКТ в освітній процес є важливим чинником створення нової системи освіти, що відповідає вимогам інформаційного суспільства і процесу модернізації традиційної системи освіти, сприяє підвищенню якості освітнього процесу та його результату [6, 132]. Крім того, це дає можливість керувати освітнім процесом, а також впливати на саме навчання та засвоєння навчального матеріалу [3, 122].

Іноземні й вітчизняні дослідники виокремлюють низку переваг щодо впровадження сучасних ІКТ в освітній процес, серед яких [3, 123; 4]:

- підвищення якості підготовки фахівців;
- підвищення якості освітнього процесу;
- розробка нових технологій навчання, що сприяють підвищенню мотивації та активізації пізнавального процесу під час освітнього процесу;
- забезпечення неперервності, доступності та індивідуалізації освітнього процесу за рахунок вибору вмісту навчальних матеріалів, індивідуальної траєкторії, темпу та режиму навчання;
- автоматизація освітнього процесу та перевірки знань;
- незалежне оцінювання якості знань, рівня викладання, якості навчальних програм і матеріалів.

Нормативно-правові основи впровадження ІКТ у систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти визначені у таких документах: Стратегія розвитку інформаційного суспільства в Україні; Національна стратегія розвитку освіти в Україні на період до 2021 року; Національна доктрина розвитку освіти; Закон України

«Про освіту»; галузева Концепція розвитку неперервної педагогічної освіти, Комюніке «Нова динаміка вищої освіти і науки для соціальної зміни і розвитку» та ін. Отже, аналіз законодавчої бази засвідчив, що на сьогодні створене необхідне нормативно-правове підґрунтя, яке дає змогу ЗВО впроваджувати ІКТ у систему забезпечення якості освіти.

Вимоги інформаційного суспільства стимулюють українські виші вводити сучасні ІКТ у свої внутрішні системи забезпечення якості. Викладачі ЗВО, як одні з основних гарантів якісної підготовки фахівців, також є активними учасниками цього процесу.

На думку багатьох вітчизняних науковців, дієвим інструментом щодо забезпечення якості вищої освіти є імплементація постанов Стандартів і рекомендацій щодо забезпечення якості у Європейському просторі вищої освіти у систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти [7]. Аналіз положень Стандартів і рекомендацій щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG) (Частина 1: Стандарти та рекомендації щодо внутрішнього забезпечення якості) (далі — Стандарти) [8] дав змогу визначити ключові обов'язки та права викладача ЗВО щодо забезпечення якості вищої освіти. Спираючись на останні, наведемо приклади впровадження сучасних ІКТ у систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти викладачем, які відбувались у Київському університеті імені Бориса Грінченка. Досвід представлено за структурою, яка відповідає структурі Стандартів.

Відповідно до пункту 1.1. «Політика щодо забезпечення якості» Стандартів ключовим обов'язком викладача є сприяння та підтримка академічної доброчесності та застереження проти академічного шахрайства (плагіату) в діяльності студентів. Одним із заходів щодо цього є складання завдань до лабораторних, практичних, семінарських занять тощо таким чином, щоб студентам, аби їх виконати, потрібно було б звернутися до інтернет-сервісів, зокрема у хмарних середовищах, у яких необхідно зареєструватися. Викладач зобов'язує і вимагає від студентів робити завдання виключно під їхнім особистим акаунтом. Особливо це ефективно при наявності у них персоніфікованих електронних адрес.

Другим заходом для сприяння та підтримки академічної доброчесності та застереження проти академічного плагіату в діяльності

студентів є вимога при виконанні завдань (у текстових документах, презентаціях, відео тощо) зазначати посилання на джерела інформації у разі запозичення ідей, тверджень, відомостей, а вказування джерела інформації — робити одним із критеріїв оцінки роботи студента.

Ще одним методом боротьби зі студентським плагіатом є те, що в разі виявлення обману, коли студент подає чужу роботу як результат власної праці, викладач повідомляє про це останнього і робота не зараховується.

Для об'єктивного та неупередженого оцінювання результатів навчання використовується електронне тестування, яке може відбуватися безпосередньо у системі електронного навчання та за допомогою хмарних сервісів.

Згідно з пунктом 1.2. «Розроблення і затвердження програм» ключовим обов'язком викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є розробка робочих програм навчальних дисциплін, які мають визначені очікувані результати навчання, що відповідають загальним цілям програми.

Відповідно до Стандарту вищої освіти України першого (бакалаврського) рівня спеціальності 053 «Психологія», затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України від 24.04.2019 р. № 565 [9], у результаті навчання за відповідною освітньою програмою студенти мають набути комплекс компетентностей, серед яких зазначена загальна компетентність ЗКЗ (навички використання інформаційних і комунікаційних технологій) та відповідні до неї очікувані програмні результати навчання.

Згідно з бакалаврською освітньою програмою підготовки психологів, було розроблено робочу програму навчальної дисципліни «Інформаційно-комунікаційні технології в психології», відповідно до якої формування загальної компетенції навички використання інформаційних і комунікаційних технологій відбувається через виконання студентами лабораторних робіт. Відповідно до зазначених вище очікуваних програмних результатів навчання було розроблено лабораторні роботи та перелік запланованих результатів освоєння дисципліни до кожної з них. Приклади переліку програмних результатів навчання та лабораторних робіт для їх досягнення (з результатами навчання) представлений у *табл. 1.8.1.*



Таблиця 1.8.1

**ТАБЛИЦЯ ВІДПОВІДНОСТІ  
ПРОГРАМНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ  
ТА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
(СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ «ПРАКТИЧНА ПСИХОЛОГІЯ»**

(перший (бакалаврський) рівень),  
дисципліна «Інформаційно-комунікаційні технології в психології»)

<b>Програмні результати навчання</b>	<b>Теми лабораторних робіт</b>	<b>Заплановані результати освоєння дисципліни</b>
<p>ПР3. Здійснювати пошук інформації з різних джерел для розв'язання професійних завдань у т. ч. з використанням ІКТ</p>	<p>Пошук інформації професійного спрямування</p>	<p>— створювати складні запити для пошуку інформації психологічного напрямку; — здійснювати пошук інформації психологічного напрямку за допомогою розширеного пошуку; — вибирати різноманітні джерела для пошуку інформації психологічного напрямку</p>
<p>ПР5. Самостійно добирати та застосовувати валідний і надійний психодіагностичний інструментарій (тести, опитувальники, проєктивні методики тощо) психологічного дослідження та технології психологічної допомоги</p>	<p>Організація та проведення онлайн-опитування інструментами Google Форми</p>	<p>— створювати онлайн-опитувальники; — використовувати різні типи запитань при створенні опитувальників; — ілюструвати опитувальники; — організувати проведення опитування; — збирати дані опитування; — аналізувати отримані дані опитування; — доходити висновків</p>

Відповідно до пункту 1.3. «Студентоцентроване навчання, викладання та оцінювання» Стандартів ключовими обов'язками викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є такі.

1. Розроблення та попереднє оприлюднення критеріїв виставлення оцінок, послідовне і чесне оцінювання студентів згідно з встановленими процедурами.

У межах дисципліни «Інформаційно-комунікаційні технології в психології» для спеціалізації «Практична психологія» розроблено критерії для оцінювання лабораторних робіт, розміщених у системі електронного навчання (табл. 1.8.2).

Таблиця 1.8.2

ПРИКЛАД КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ  
ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Тема лабораторної роботи	Завдання	Критерії оцінювання
Використання інтелект-карт у діяльності психолога	За допомогою ресурсу <a href="http://www.mindomo.com">www.mindomo.com</a> створіть інтелект-карту з вашої теми на основі порожнього шаблону	Робота оцінюється в 10 балів. — Наявність 15 блоків у карті — 3 б. — Логічність структури карти — 2 б. — Наявність елементів форматування тексту, блоків, гілок — 1 б. — Наявність рисунків — 1 б. — Наявність відео — 1 б. — Наявність посилань — 1 б. — Наявність символів — 1 б.

2. Оцінювання досягнень студентів та надання відгуку щодо результатів їхнього навчання.

У Київському університеті імені Бориса Грінченка оцінювання студентів відбувається безпосередньо в електронному навчальному курсі (ЕНК) дисципліни у системі електронного навчання. Викладач завантажує надісланий студентом файл з виконаною роботою, перевіряє і виставляє оцінку в призначене для цього вікно. Під час оцінювання роботи викладач може залишити коментар для студента (рис. 1.8.1).

Інший спосіб оцінювання студентів відбувається за допомогою тестового контролю, поданого в електронному вигляді. Оцінювання тестів у системі електронного навчання здійснюється автоматично. Після проходження тесту студент відразу бачить свій результат, а викладач — всіх студентів (рис. 1.8.2).

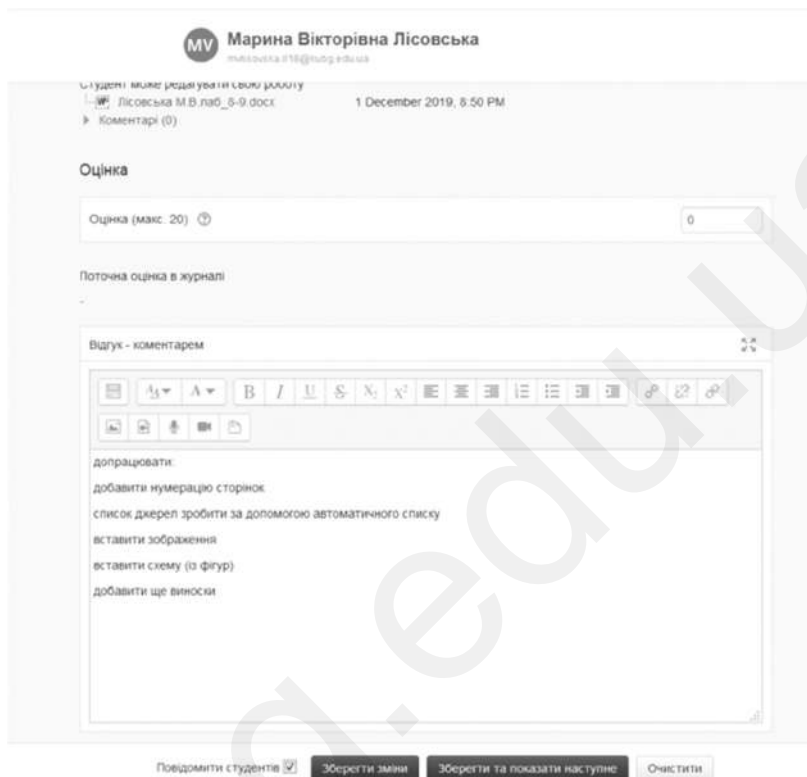


Рис. 1.8.1. Приклад оцінювання роботи студента викладачем

Ім'я   Прізвище	Електронна пошта	Стан	Розпочато	Завершено	Заграваний час	Оцінка/25	Пит.1	Пит.2	Пит.3	Пит.4	Пит.5	Пит.6	Пит.7	Пит.8	Пит.9	Г
Юлія Михайлівна Андрус	ymandrusk.118@kubg.edu.ua	Завершено	7 November 2019 5:29 PM	7 November 2019 5:36 PM	7 хв 38 сек	21	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1
Роксолана Анатоліївна Дитюк	ra1010uk.118@kubg.edu.ua	Завершено	17 November 2019 10:29 PM	17 November 2019 10:48 PM	19 хв 6 сек	20	✗ 0	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✗ 0
Дарина Петрівна Баран	dbaran.118@kubg.edu.ua	Завершено	4 November 2019 11:54 AM	4 November 2019 11:59 AM	5 хв 13 сек	24	✓ 0	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1
Валерія			13	13												

Рис. 1.8.2. Результати тестування студентів у системі електронного навчання

Отже, оцінювання студентів за допомогою електронного тестування є об'єктивним і чесним, дає змогу здійснити аналіз складених тестів, дати індивідуальний або груповий відгук щодо результатів навчання та в разі необхідності відкоригувати навчальні матеріали.

Відповідно до пункту 1.4. «Зарахування, досягнення, визнання та атестація студентів» на викладачів покладено обов'язки послідовно застосовувати визначені наперед та опубліковані інструкції через запровадження процесів та інструментів для збору і моніторингу інформації щодо прогресу студентів.

Збір і моніторинг інформації щодо прогресу студентів Київського університету імені Бориса Грінченка відбувається у системі електронного навчання (рис. 1.8.3). Студент також може спостерігати за своїм прогресом.

Прізвище / Ім'я	Лабораторна робота 13	Лабораторна робота 14...	Лабораторна робота 15	Самостійна робота 4	Модульний контроль 4	Повторний контроль заг...	
LZ Адам Лайла Звані	10	18	10	5	21		53
MO Анжосин Марія Олександрівна	10	20	10	5	21		57
15 Андрей Тетяна Святославівна	10	17	10	5	16		47
MM Антонов Софія Михайлівна	10	15	10	5	19		53
AI Білецька Альона Ігорівна	10	13	-	5	13		35
SD Бінокус Софія Олександрівна	10	-	0	5	21		40

Рис. 1.8.3. Вікно «Оцінки студентів»

Постійний відкритий доступ до результатів навчання студентів сприяє їх об'єктивному оцінюванню, мотивує та дає можливість покращити результати свого навчання, що позитивно впливає на якість освіти.

Відповідно до пункту 1.5. «Викладацький персонал» ключовим обов'язком викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є професійний розвиток та підвищення своєї компетентності різними методами. Останнє можна здійснити завдяки проходженню курсів, спрямованих на підвищення педагогічної майстерності та ІКТ-компетентності, які є у відкритому доступі на таких платформах:

- Prometheus (<https://prometheus.org.ua>);
- Ed-era (<https://www.ed-era.com>);
- ВУМ online (<https://vumononline.ua>);
- Освітній хаб міста Києва (<https://eduhub.in.ua>);
- На урок (<https://naurok.com.ua>).

Відповідно до пункту 1.6. «Навчальні ресурси і підтримка студентів» Стандартів ключовим обов'язком викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є забезпечення адекватними та легкодоступними навчальними ресурсами студентів, надання підтримки. В Університеті Грінченка в основному це відбувається через електронні навчальні курси дисциплін, навчальними ресурсами в яких є: лекційні матеріали (у вигляді інтерактивних лекцій, презентацій, відео-, аудіоматеріалів тощо); завдання для семінарських, практичних, лабораторних робіт (у вигляді файлів, форумів тощо); тестові завдання (у вигляді електронних тестів) тощо. Навчально-методичне забезпечення дисципліни, що вивчається з використанням технології дистанційного навчання, викладач розробляє відповідно до вимог Положення про порядок створення електронних навчальних курсів, їх сертифікацію та використання у системі е-навчання Київського університету імені Бориса Грінченка [10] (рис. 1.8.4).

Забезпечення умов підтримки, необхідних для досягнення студентами передбачених результатів навчання, відбувається через інтерактивне спілкування між викладачем та студентами (як синхронно, так і в асинхронному режимі). Зокрема, у системі електронного навчання Moodle для цього передбачений такий інструмент, як чат (рис. 1.8.5).

Для налагодження комунікації зі студентами в електронному навчальному курсі дисципліни було організовано:

- форум оголошень, на якому викладач залишає повідомлення для студентів;
- консультаційний форум, на якому студенти можуть ставити запитання викладачу, обговорювати проблемні питання;
- практичні, лабораторні або семінарські заняття, організовані у вигляді форуму, на якому викладач може дати відгук щодо виконаної роботи (рис. 1.8.6).

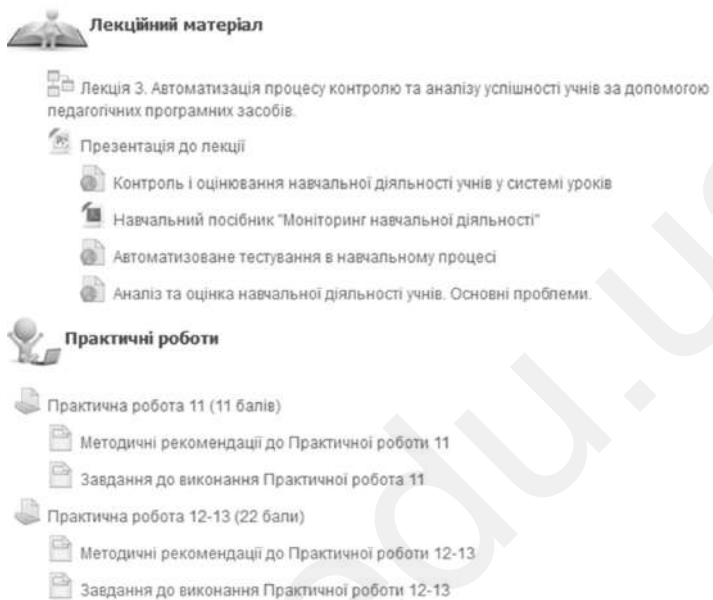


Рис. 1.8.4. Фрагмент електронного навчального курсу дисципліни

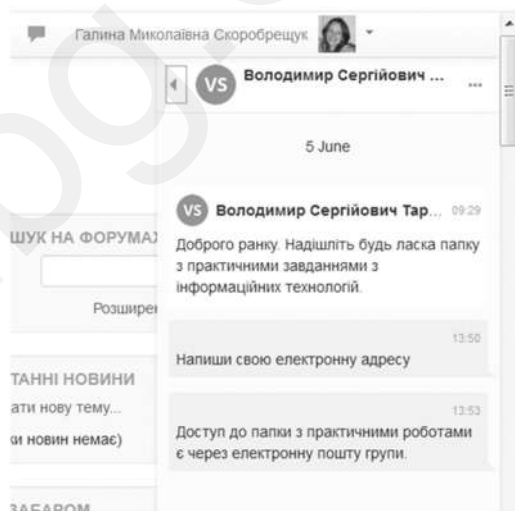


Рис. 1.8.5. Переписка викладача зі студентом у вікні чату

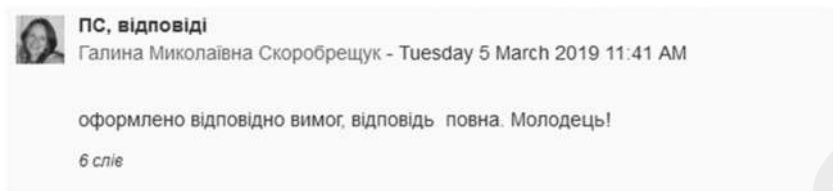


Рис. 1.8.6. Відгук викладача у форумі на роботу студента

Ще одним способом комунікації між викладачем та студентами (за межами системи електронного навчання) є електронна пошта (рис. 1.8.7).

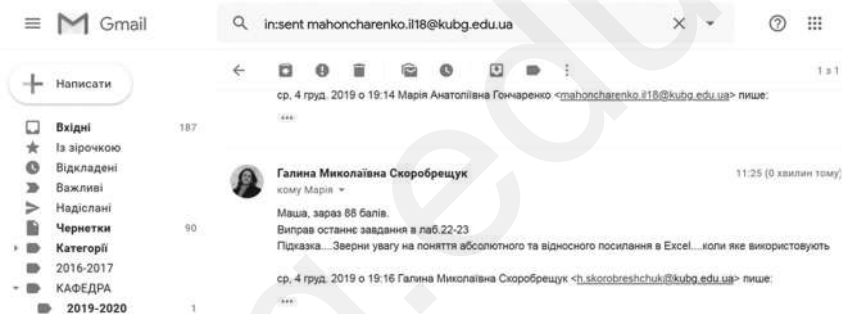


Рис. 1.8.7. Надання відгуку студентіві щодо результату навчання

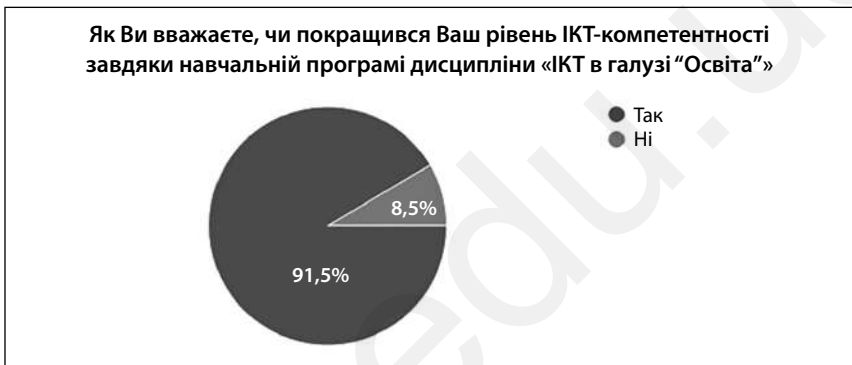
Відповідно до пункту 1.7. «Інформаційний менеджмент» Стандартів ключовими обов'язками викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є такі.

1. Збір інформації про рівень досягнень та успішність студентів, у тому числі їхня самооцінка.

З метою визначення важливості самооцінювання серед студентів було проведено онлайн-опитування за допомогою Google Форми на предмет розвитку їхньої ІКТ-компетентності. Учасниками стали студенти 2-го курсу Університету Грінченка спеціальності «Дошкільна освіта» денної форми навчання після завершення вивчення дисципліни «ІКТ в галузі "Освіта"». Їм було запропоновано визначити, чи покращився їхній рівень ІКТ-компетентності завдяки на-

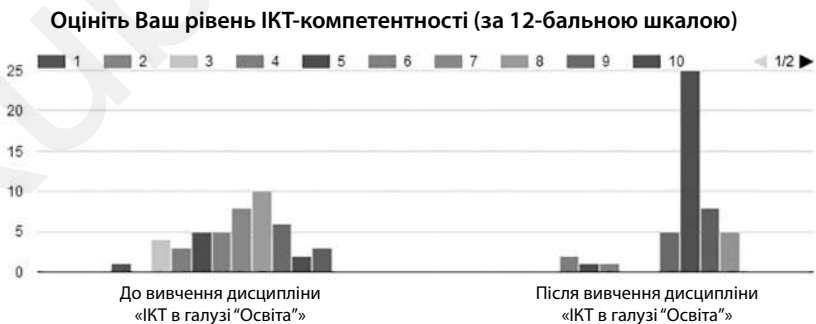
вчальній програмі дисципліни «ІКТ в галузі “Освіта”», та оцінити рівень ІКТ-компетентності до і після вивчення предмета.

Отримані результати самооцінювання студентів, представлені у вигляді діаграми на *рис. 1.8.8*, свідчать про те, що переважна більшість (91,5 %) покращила свій рівень ІКТ-компетентності завдяки виконанню навчальної програми дисципліни «ІКТ в галузі “Освіта”» [11].



*Рис. 1.8.8.* Результат самооцінки студентів щодо покращення рівня ІКТ-компетентності

На *рис. 1.8.9* представлені результати самооцінювання студентів за 12-бальною шкалою оцінювання.



*Рис. 1.8.9.* Результати самооцінювання студентів за 12-бальною шкалою



На основі здійсненого аналізу гістограм самооцінювання студентів за 12-бальною шкалою можна констатувати суттєве покращення рівня ІКТ-компетентності у студентів 2-го курсу спеціальності «Дошкільна освіта» денної форми навчання завдяки виконанню програми дисципліни «ІКТ в галузі “Освіта”» [11]. Ця динаміка відображена на *рис. 1.8.10*.



*Рис. 1.8.10.* Динаміка розвитку ІКТ-компетентності студентів

2. Збір інформації щодо задоволеності студентами програмами навчальних дисциплін, у тому числі навчальними ресурсами.

З метою визначення задоволення щодо якості викладання дисципліни серед студентів було проведено онлайн-опитування за допомогою Google Форми. Участь взяли студенти 2-го курсу Університету Грінченка спеціалізації «Практична психологія» денної форми навчання після завершення вивчення дисципліни «Інформаційно-комунікаційні технології в психології». Їм було запропоновано оцінити кожну зі складових якості, а саме: якість навчально-методичного забезпечення, якість організації освітнього процесу та якість отриманих знань.

Результати опитування щодо задоволеності студентами якістю викладання дисципліни, наведені на *рис. 1.8.11–1.8.13*, свідчать про те, що:

— переважна більшість студентів (72 %) оцінила якість навчально-методичного забезпечення дисципліни на достатньо високому рівні (*рис. 1.8.11*);

— переважна більшість студентів (76 %) оцінила якість організації освітнього процесу дисципліни також на достатньо високому рівні (*рис. 1.8.12*);



*Рис. 1.8.11.* Результати оцінювання якості навчально-методичного забезпечення дисципліни «Інформаційно-комунікаційні технології в психології»



*Рис. 1.8.12.* Результати оцінювання якості організації освітнього процесу дисципліни «Інформаційно-комунікаційні технології в психології»

— переважна більшість студентів (81 %) оцінила якість отриманих знань з дисципліни на достатньо високому рівні (рис. 1.8.13);



Рис. 1.8.13. Результати оцінювання якості отриманих знань з дисципліни «Інформаційні технології в галузі психології»

Слід зазначити, що найбільше задоволення студенти отримали від якості отриманих знань, що загалом свідчить про достатньо високий рівень організації викладання дисципліни «Інформаційно-комунікаційні технології в психології».

3. Використання результатів зібраної інформації для прийняття рішень.

Результати опитування свідчать про необхідність покращення насамперед якості навчально-методичного забезпечення дисципліни. Зокрема, в ході опитування студенти зауважили щодо необхідності збільшити кількість лекційного матеріалу в ЕНК із зазначеної дисципліни та додати детальніший опис і пояснення до виконання лабораторних робіт.

Відповідно до пункту 1.8. «Публічна інформація» ключовим обов'язком викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є пу-

блікація інформації про свою діяльність, робочих програм навчальних дисциплін тощо.

В Університеті Грінченка розміщення інформації про діяльність викладачів здійснюється через систему їхнього електронного портфоліо. Публікація робочих програм навчальних дисциплін викладачем відбувається через Інституційний репозиторій університету. Публікація елементів робочої програми навчальної дисципліни також є обов'язковою у ЕНК з дисципліни (рис. 1.8.14).

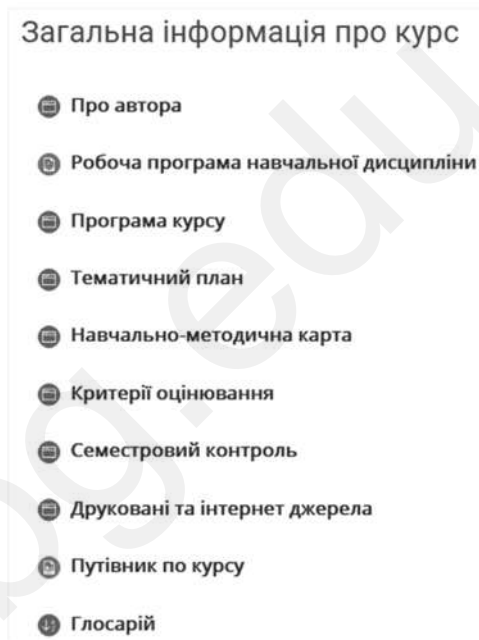


Рис. 1.8.14. Фрагмент публікації елементів робочої програми навчальної дисципліни в ЕНК

Відповідно до пункту 1.9. «Поточний моніторинг і періодичний перегляд програм» Стандартів ключовими обов'язками викладача щодо забезпечення якості вищої освіти є такі.

1. Організація та залучення студентів до процесу оцінювання робочих програм навчальних дисциплін.

З метою моніторингу змісту робочої програми навчального предмета «Інформаційно-комунікаційні технології в психології» для спеціалізації «Практична психологія», а саме лабораторних робіт, після завершення дисципліни було проведено онлайн-опитування студентів за допомогою Google Форми.

Студентам був запропонований список тем лабораторних робіт, виконаних під час навчання, які їм потрібно було оцінити на предмет корисності, цікавості та легкості / важкості виконання. Опитування проводилось серед студентів 2-го курсу Університету Грінченка спеціальності «Практична психологія» денної форми навчання (рис. 1.8.15).

До кожної з тем оберіть характерні риси \*

	Було корисно виконувати	Було цікаво виконувати	Було легко виконувати	Було важко виконувати
Використання Googl-сервісів	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Організація онлайн опитування	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Пошук професійної інформації	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Створення інфографіки	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рис. 1.8.15. Фрагмент опитувальника, створеного за допомогою Google Форми

2. Збір та аналіз інформації про результати оцінювання програм студентами.

Результати опитування студентів щодо змісту робочої програми навчальної дисципліни «Інформаційні технології в галузі психології» для спеціалізації «Практична психологія» наведено на рис. 1.8.16.

## Оцінка програми дисципліни "ІКТ в галузі психології"

До кожної з тем оберіть характерні риси

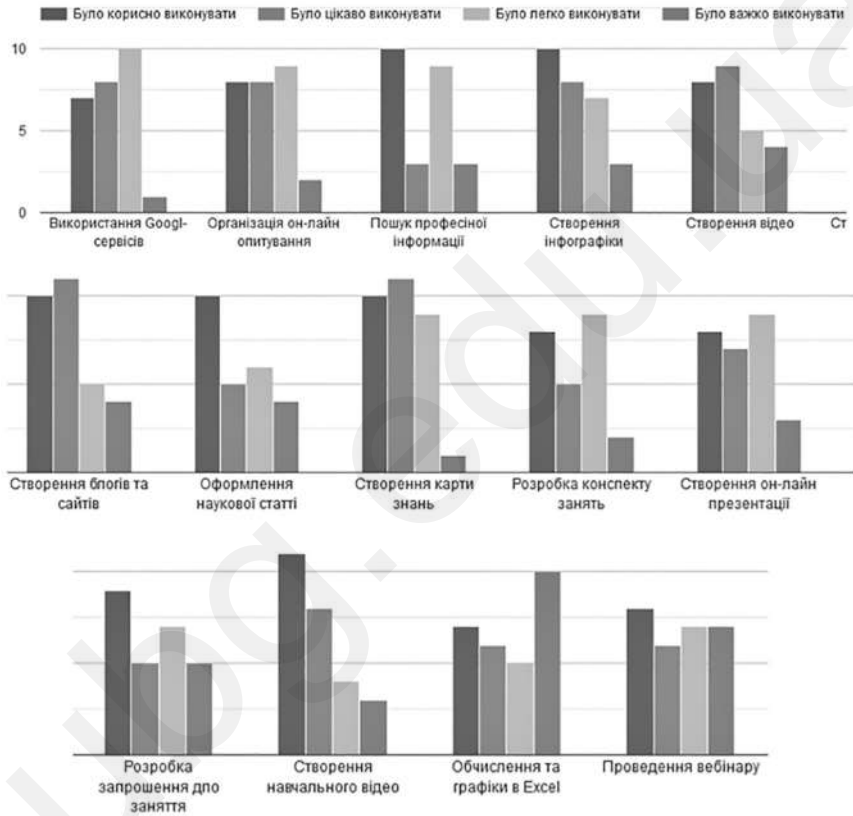


Рис. 1.8.16. Результати оцінки студентами змісту лабораторних робіт

Аналіз отриманих результатів засвідчив таке:  
 — найбільш складними для виконання виявилися лабораторні роботи з Excel та проведення вебінару;

— більшість студентів не зрозуміла важливості та необхідності використання у своїй професійній діяльності інструментів електронних таблиць в експериментально-дослідницькій діяльності та під час проведення вебінарів;

— більшість студентів не зрозуміла важливості та необхідності використання у своїй професійній діяльності можливостей Google-сервісів, у тому числі проведення онлайн-опитувань та створення онлайн-презентацій. Однак це може свідчити й про те, що багато з них володіє зазначеними інструментами на досить високому рівні, тому не визнали корисними виконання лабораторних робіт з цих тем;

— переважна більшість студентів вважає запропоновані лабораторні роботи корисними або / та цікавими.

Під час опитування студенти також мали можливість подати пропозиції щодо вдосконалення робочої програми навчальної дисципліни. Серед яких доцільно буде завернути увагу на такі:

— недостатньо часу для виконання деяких лабораторних робіт;

— додати лабораторні роботи на дослідження інтернет-джерел психологічного напрямку.

У результаті аналізу відгуків студентів виникла необхідність щодо перегляду та корегування робочої програми навчальної дисципліни, зокрема:

— збільшити час на виконання лабораторної роботи з організації та проведення вебінару (замість 2 год. — 4) за рахунок зменшення часу на виконання лабораторних робіт з дослідження Google-сервісів;

— збільшити кількість лекційного матеріалу на тему «Електронні таблиці Excel»;

— під час проведення лекцій та лабораторних робіт з таких тем, як інструменти електронних таблиць в експериментально-дослідницькій діяльності психолога, організація та проведення онлайн-опитувань, організація та проведення вебінарів зосередити увагу студентів на можливостях використання зазначених інструментів у професійній діяльності психолога;

— зменшити час на виконання лабораторної роботи зі створення презентацій (замість 4 год. — 2);

— розробити лабораторну роботу на дослідження інтернет-джерел психологічного напрямку.

Наведені вищі приклади використання сучасних ІКТ в освітньому процесі із досвіду викладача можуть бути впровадженні у систему внутрішнього забезпечення якості.

Спираючись на визначені ключові теоретичні та нормативно-правові аспекти забезпечення якості вищої освіти й практичний досвід викладача, розроблено такі рекомендації для викладачів щодо впровадження сучасних ІКТ у систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти.

1. Публікувати інформацію про свою діяльність у вигляді електронного портфоліо у спосіб, передбачений закладом вищої освіти. У разі відсутності такої можливості — за допомогою створення особистого сайту, блогу. Для представлення науково-методичних публікацій використовувати Google Академію та інші призначені для цього інтернет-ресурси.

2. Підвищувати свою компетентність, у тому числі цифрову, за допомогою масових відкритих онлайн-курсів.

3. Розробляти та зберігати навчально-методичні матеріали у вигляді електронних курсів дисциплін (у разі наявності в закладі вищої освіти системи електронного навчання). При відсутності системи електронного навчання використовувати Google Classroom або розробляти навчально-методичні матеріали за допомогою різноманітних інтернет-сервісів, програмного забезпечення та зберігати на е-дисках або за допомогою сервісів передачі файлів.

4. Для підтримки комунікації зі студентами використовувати електронну пошту та месенджери.

5. Складати завдання до лабораторних, практичних, семінарських, індивідуальних занять тощо таким чином, щоб студентам, аби їх виконати, потрібно було б звернутися до інтернет-сервісів, зокрема у хмарних середовищах, у яких необхідно зареєструватися.

6. Зобов'язати студентів створити персоніфіковані аккаунти (у разі їх відсутності) на Google-пошті.

7. Вимагати від студентів виконувати завдання виключно під їхніми особистим аккаунтами.

8. Вимагати від студентів обов'язкового посилання на джерела інформації (у вигляді списків, приміток тощо).

9. Організовувати та проводити тестову перевірку знань за допомогою інтернет-сервісів для створення тестів.



10. Організувати та проводити онлайн-опитування студентів щодо визначення їх задоволеності якістю викладання дисциплін тощо за допомогою Google Форми.

Отже, використання викладачем сучасних ІКТ в освітньому процесі має великий потенціал для якості вищої освіти.

### ДЖЕРЕЛА

1. Альохіна Г.М. Проблема управління якістю вищої освіти на бакалаврському рівні: аналіз наукових праць. *Вища освіта України*. 2015. № 3 (додаток 2). С. 7–16.

2. Альохіна Г.М. Якість освіти у контексті сучасних трансформацій вищої освіти. *Вища освіта України*. 2014. № 3 (додаток 1). С. 124–127.

3. Шевчук А.В. Регіональні освітні системи: теорія, методологія, практика інноваційного розвитку Львів: Інститут регіональних досліджень НАН України, 2013. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/14169> (дата звернення: 07.12.2020).

4. Булысова Т.В. Готовность преподавателей ВУЗа к использованию информационно-коммуникационных технологий в целях повышения качества образования. *Наука и образование: сб. мат-лов V Межд. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. 2015. С. 49–54.

5. Телепнева Н.Н. Повышение уровня информационно-коммуникативной компетентности педагога в условиях информатизации современного образования. *Наука 21 века: вопросы, гипотезы, ответы*. 2014. № 2. С. 76–79.

6. Готько О., Чайковська О. Інформаційно-комунікаційні технології — як сучасний засіб навчання в освіті. *Молодь і ринок*. 2015. № 4. С. 130–134.

7. Правові засади реалізації Болонського процесу в Україні: монографія / за заг. ред. В. Лугового, С. Калашнікової. К.: ДП «НВЦ «Пріоритети». 2014. С. 65–95.

8. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG). К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015.

9. Стандарт вищої освіти України за спеціальністю 053 «Психологія» галузі знань 05 «Соціальні та поведінкові науки», затверджений МОН від 24.04.2019 р. № 565. URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/zatverdzheni-standarti-vishoyi-osviti> (дата звернення: 07.12.2020).

10. Положення про порядок створення електронних навчальних курсів, їх сертифікацію та використання у системі е-навчання Київського університету імені Бориса Грінченка. URL: [https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vdd/documenty/rozdil\\_7/nakaz\\_674\\_29.10.20.pdf](https://kubg.edu.ua/images/stories/Departaments/vdd/documenty/rozdil_7/nakaz_674_29.10.20.pdf)

11. Скоробрещук Г.М. Google-форми як інструмент оцінювання для забезпечення якості вищої освіти. *Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів та комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті і науці*: зб. мат-лів II Всеукр. наук.-практ. конференції, 28 березня 2018 р. К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка. 2018. С. 92–96.

## 1.9. МОДЕЛЬ ІННОВАЦІЙНОЇ ОСВІТНЬОЇ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

**Наталія Кобець**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

**Тетяна Ковалюк**

*(Київський національний університет імені Тараса Шевченка)*

Протягом останніх років на Всесвітньому економічному форумі у Давосі провідні науковці та представники бізнесу обговорюють проблеми глобальних економічних, політичних і загальнолюдських змін, які є індикаторами початку четвертої промислової революції (Industry 4.0). Суть її полягає в тому, що матеріальний світ сьогодні зливається з віртуальним, у результаті чого створюються нові кіберфізичні комплекси, які поєднані в єдину цифрову екосистему. Роботизоване виробництво та «розумні» заводи — один із компонентів трансформованої галузі.

Однією з ключових тем, що обговорювалася на Всесвітньому економічному форумі — 2020 у Давосі, була Reskilling Revolution. Ця ініціатива спрямована на підготовку людей до професій майбутнього в перспективі до 2030 р. Згідно з даними експертів, 133 млн нових вакансій з'явиться в провідних економіках країн до 2022 р., а до 2030 р. потрібно навчити і перевчити 1 млрд людей через зміну 42 % базових навичок у найближчому майбутньому [1]. Оскільки типи необхідних на ринку праці навичок швидко змінюються, окремим категоріям працівників доведеться навчатися протягом усього життя, щоб досягти успішної і корисної для Industry 4.0 кар'єри.

Сьогодні заклади вищої освіти в розвинених країнах перетворилися на найважливішу інфраструктуру інноваційного розвитку держав, отримали стратегічне значення у формуванні інтелектуального капіталу. Рівень освіти є однією з трьох складових індексу людського розвитку разом з ВВП на душу населення і середньої тривалості життя. Згідно з [2], відкриття кожного нового університету підвищує ВВП на душу населення країни в середньому на 0,05 %, збільшує обсяг економіки регіону, де розташовується університет, на 0,4 %.

Освіта та розвиток людського капіталу мають велике значення для забезпечення стрімкого й стійкого зростання в Україні, але частка людського капіталу в національному багатстві залишається невеликою. За час, що минув після здобуття незалежності, Україні вдалося зберегти чимало зі своїх порівняльних переваг стосовно якості освіти, що сприяє досягненню високих рівнів освіти та розвитку людського капіталу. Вона посіла 42 місце серед 63 країн у світовому рейтингу конкурентоспроможності талантів за результатами The IMD World Talent Ranking 2020 [3], випередивши більш розвинені європейські держави, зокрема Словаччину, Угорщину та Хорватію. 42 позиція у глобальному рейтингу конкурентоспроможності свідчить про те, що ситуація з людським капіталом в Україні далеко не катастрофічна. Втім, навички, яких потребують сектори, що зростають, відрізняються від тих, які розвиває система освіти, а необхідні зміни йдуть повільно. За оцінками світового банку національного багатства 141 країни світу [4] в Україні на людський капітал припадає лише 34 % загального національного багатства, тоді як у державах із нижчим за середній рівень доходів його частка сягає 51 %, а по регіону Європи та Центральної Азії (ECA) — 62 %. Попри високі рівні освіти роль людського капіталу України як фактору виробництва, що є рушійною силою економічного зростання, залишається відносно слабким і майже не впливає на зростання економіки через низький рівень цифрової конкурентоспроможності. За результатами оцінювання конкурентоспроможності 141 країни світу, відповідно до звіту Світового економічного форуму про глобальну конкурентоспроможність за 2019 рік [5], Україна посіла 85-те місце.

Цифрова революція для цифрової трансформації економіки є актуальною проблемою для України. Програма такої трансформації закладена в Концепції розвитку цифрової економіки і суспільства України на 2018–2020 роки та плані заходів щодо її реалізації «Цифровий порядок денний України — 2020» [6–7]. Концепція розглядає цифровізацію як вектор технологічних змін України. Пріоритетами цифрового порядку денного України є законодавство про цифрову економіку та телекомунікації, цифрова інфраструктура, включаючи широкосмугову стратегію, програма безготівкової економіки у сферах електронної торгівлі, електронної довіри та кібербезпеки, а також ініціатива «Розумні міста — розумні регіони», орієнтована

на децентралізацію і впровадження eSkills, eHealth та eTrade в регіонах України

Розвиток цифрових навичок і компетентностей в Україні відбувається хаотично і безсистемно: застарілі методики викладання, відсутність навчальних платформ, підготовлених викладачів, недостатність сучасних цифрових технологій для навчального процесу — призвели до надзвичайно низького рівня цифрової грамотності в усіх існуючих сегментах державної системи освіти. У результаті посилюються суперечності між застарілою моделлю професійної освіти, побудованою на вже відомому переліку професійних навичок, і прискореним темпом науково-технічного прогресу. Про негативні тенденції в освіті та науці України свідчать такі факти:

— згідно з Ranking Web of Universities, станом на липень 2020 р. найкращі українські ЗВО мають світовий рейтинг 1110 (National Taras Shevchenko University of Kyiv), 1442 (National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute) [8];

— за версією QS World University Rankings 2020 рейтинг Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна визначений як 491, КНУ імені Тараса Шевченка опинився в категорії 541–550, НТУ «ХПІ» — у 651–700 [9];

— негативні тенденції в науці та освіті відбиваються і в українському бізнесі: у 2019 р. Україна зареєструвала в 211 разів меншу кількість патентів, ніж США [10–11];

— Україна посідає тільки 45-те місце серед 131 економік світу за версією Global Innovation Index (GII) 2020 [12].

Значне відставання України в розвитку освіти, прикладної науки і комерціалізації наукових розробок свідчить про необхідність впровадження нової парадигми освітньої системи, яка подолає зазначені суперечності, в тому числі цифровий розрив, проблему інформаційного перевантаження, зростаючу економічну, соціальну й інтелектуальну нерівність.

Проблемі цифрової революції для цифрової трансформації економіки, розбудові Індустрії 4.0, розвитку людського капіталу як національного багатства України, формуванню цифрових навичок і компетентностей у ЗВО присвячено багато наукових та практичних робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників. Феномен четвертої промислової революції вперше дослідив К. Шваб у роботі [13].

Аналіз ключових галузей технологічних змін та інноваційні моделі в промисловості під загальною назвою «Індустрія 4.0» здійснювали зарубіжні та вітчизняні вчені, зокрема, М. Hermann, Т. Pentek, В. Otto [14], О.С. Матвійченко [15], Л.О. Сигида, А.Ф. Бондаренко [16]. Аналітичний огляд «Landscape Industry 4.0 in Ukraine» презентував українських інноваторів Індустрії 4.0 [17]. Детальний аналіз стратегії розвитку Industry 4.0 поданий в [26]. Цифрова трансформація економіки та суспільства вимагає аналізу освітньої сфери України, дослідження якої здійснено в огляді від World Bank Group [4].

Обґрунтуванню поняття «інноваційне освітнє середовище» і формуванню такого середовища в закладах вищої освіти (ЗВО) присвятило свої дослідження багато зарубіжних і вітчизняних вчених, у тому числі: Г. Васильєв, Н. Гладченкова, Ю. Колюткін, Л. Новикова, П. Лернер, М. Лях, М. Соколовський та ін. Своєю чергою, О.П. Цюняк [18] здійснив аналіз поняття «інноваційне освітнє середовище» та його структурних компонентів. Аналізували освітнє середовище як освітню екосистему такі дослідники, як J.F. Moor [29], S.J. Quan, Yu.L. Wang [30], Г.Б. Клейнер [31] та ін.

Разом з тим поки відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо формування інноваційного освітнього середовища ЗВО як умови підготовки кваліфікованих кадрів для цифрової трансформації економіки та суспільства, не визначена модель ІОС як освітньої екосистеми, не побудована бізнес-модель сучасного університету як центру інноваційного-підприємницького типу.

Метою роботи є обґрунтування концепції освітньої парадигми, побудованої на принципах цифрової освітньої екосистеми, яка реалізує компетентнісні моделі та формує необхідні ринку праці компетентності в умовах сучасних трендів розвитку світової економіки відповідно до вимог Industry 4.0. Для досягнення цієї мети необхідно розглянути такі завдання:

- здійснити аналіз цифрових трендів розвитку економік провідних країн та їх вплив на розвиток цифрових компетентностей людей;
- проаналізувати моделі промислових екосистем з їх впливом на трансформацію в освітній сфері;
- визначити сутність моделі інноваційної освітньої екосистеми;
- розглянути приклади успішної реалізації інноваційних освітніх екосистем в Україні.

## Цифрові тренди розвитку економіки

Розвиток цифрових технологій змінює сучасний світ і відносини в ньому. Торгівля, обмін інформацією і звичайні людські контакти все більше переносяться в цифровий вимір, розмиваючи кордони між державами та втілюючи в реальність ідею створення цифрового суспільства і глобальної цифрової економіки. Цифрова трансформація економіки та суспільства будуватиметься на цифрових трендах [19], впровадження яких можливе завдяки індустрії інформаційних технологій, що використовуються для здійснення такої трансформації:

- розвиток сфери інтернету речей (Internet of Things);
- застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання (Artificial Intelligence Technology and Machine Learning);
- аналітика великих даних (Big Data Analytics), які стають головним джерелом конкурентоспроможності;
- цифрові трансформації як окремих бізнесів, так і цілих секторів (Digital Transformation Implementation);
- економіка спільного користування (Data Sharing Technology);
- віртуалізація фізичних інфраструктурних ІТ-систем (Virtualization of IT systems);
- блокчейн-технології (Distributed Blockchain Technology);
- сервіси візуального і голосового пошуку;
- хмарні, ґрид та квантові технології (cloud computing, grid computing and quantum computing);
- технологія автономних робототехнічних систем та роботизовані технології автоматизації процесів (Autonomous Robotic Systems Technology and Robotic Process Automation Technology);
- технології людино-машинного інтерфейсу (Human-Machine Interface Technology).

**Сфера інтернету речей.** Світ настільки динамічно змінюється, що цілком очевидно — величезна кількість професій може зникнути вже в найближчому майбутньому. Отже, є сенс здобувати нові спеціальності, що пов'язані з новітніми технологіями. Розглянемо детальніше вплив цифрових трендів на цифрову трансформацію економіки та суспільства, розвиток людського капіталу й формування компетентностей майбутнього.

Розвиток сфери інтернету речей (IoT) згідно з дослідженнями Світового економічного форуму можуть впливати на досягнення

глобальних цілей сталого розвитку [20]. Інтернет речей — це комунікаційна мережа розумних об'єктів (речей), які оснащені відповідними технологіями для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем і призначені для збору й обробки інформації, що надходить з довкілля, обміну нею і виконання різних дій залежно від прописаних сценаріїв. Сьогодні найактивніше пристрої IoT розвиваються як стартапи поряд із такими напрямками, як доповнена та віртуальна реальність (AR/VR), наука про дані (Data Science), комп'ютерне бачення (Computer Vision), штучний інтелект / машинне навчання (AI / Machine Learning), робототехніка (Robotics), технологія блокчейн (Blockchain) [21]. Впровадження технологій IoT забезпечує максимальну енергоефективність, оптимізовану доступність ресурсів та ефективність їх використання, розумні, продуктивні та прибуткові операції, мобільний збір інформації, зменшення ризиків та підвищення продуктивності, керування промисловими об'єктами. Технології інтернету речей є складовою таких систем, як розумне обладнання, розумні машини та офіси, розумні будинки, розумні міста. Відповідно до [22], база активних підключень до інтернету речей до 2025 р. досягне 21,5 млрд одиниць. Але на шляху розвитку тренду IoT в Україні існують бар'єри, зокрема: мала кількість R&D розробок та інноваційної діяльності, наявні стартапи здебільшого орієнтовані на зовнішні ринки з точки зору комерціалізації та юрисдикції; брак кваліфікованих кадрів і високоякісних освітніх програм з інтернету речей. Експерти з ІТ-компаній визначають перелік знань та умінь, які мають формувати освітні програми IoT, наприклад: з безпеки в IoT, у сфері хмарних обчислень, аналітики даних, автоматизації, з вбудованих систем, M2M технології, машинного навчання тощо.

Для підготовки фахівців з компетентностями, що відповідають потребам IoT, необхідна взаємодія ЗВО та ІТ-компаній з прив'язкою навчальних дисциплін до реальних ІТ-проектів і відповідної апаратної бази. Наслідком такої співпраці має стати випускник, що розуміє всю складність екосистеми, в якій розвиваються виробники компонентів, постачальники готових систем і компанії-інтегратори; здатний застосувати отримані теоретичні знання та практичні навички при моделюванні, проектуванні, розробці й супроводі систем автоматизації для збору, передавання і опрацювання інформації у різних галузях, керування ними та інтеграції в інформаційно-тех-



нічні системи з використанням сучасної мікропроцесорної техніки, спеціалізованого прикладного програмного забезпечення та комунікаційних технологій [21]. Створення спеціалізації «Інтернет речей» у Львівській політехніці за ініціативи Львівського ІТ-кластеру є прикладом успішної співпраці ЗВО та ІТ-індустрії.

**Технології штучного інтелекту та машинного навчання.** Застосування технологій штучного інтелекту (AI) та машинного (ML) навчання (ML) є трендом високих технологій, знання та вміння з яких дають змогу досягати нових горизонтів у всіх сферах життя. На сьогодні AI широко застосовується у фінансовій та банківській сферах, для розпізнавання образів, звуків і мовлення, медичної діагностики, у спам-фільтрах, військових системах для визначення цілей, у комп'ютерних іграх тощо. Згідно з дослідженням Northeastern University і Gallup [23], п'ять з шести американців використовує щоденно сервіси штучного інтелекту для навігації, потокові сервіси, персональні помічники для смартфонів, домашні персональні помічники, розумні домашні пристрої тощо. У промисловості та бізнесі AI використовується для планування розкладу транспорту, оцінки бізнес-ризиків, прогнозування технічного обслуговування, підвищення енергоефективності та інших завдань, спрямованих на економію фінансів. Внесок AI у світову економіку до 2030 р. оцінюється у 15,7 трлн дол. США [24]. Машинне навчання (ML) — це підгалузь штучного інтелекту, що являє собою набір алгоритмів для навчання машин розв'язанню певних завдань. За рахунок статистичних методів та навчання, розуміння кінцевого рішення машинне навчання добирає різні варіанти до тих пір, поки не знайде необхідного правильного результату. Сучасний функціонал інструментів машинного навчання справді вражає: додатки вже здатні розпізнавати мову, жести та образи, проводити медичну та технічну діагностику, біржовий і фінансовий аналізи, систематизувати документацію та виявляти спам. Тотальна цифровізація приводить до накопичення величезних обсягів даних у різних галузях, що розширює сферу застосування ML.

Уряд України у 2020 р. затвердив Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні (далі — Концепція) до 2030 р. [25]. На розробку та впровадження перших її етапів знадобиться понад 14 млн грн у 2021–2023 рр. Основні напрями Концепції включають:

— удосконалення середньої, вищої освіти та підвищення кваліфікації з метою підготовки кваліфікованих фахівців у сфері штучного інтелекту;

— стимулювання наукових досліджень у галузі, зокрема за допомогою грантів;

— стимулювання підприємництва у галузі AI, а також розробка методу перекваліфікації кадрів, що можуть втратити роботу через автоматизацію за 5–10 років;

— робота з підвищенням рівня кібербезпеки, удосконалення законодавства у сфері кіберзахисту;

— застосування технологій штучного інтелекту в оборонній сфері та публічному управлінні;

— розв'язання проблем роботи державних реєстрів;

— використання AI у правосудді, зокрема для попередження небезпечних явищ завдяки аналізу наявних даних.

Складно знайти сферу, де технології машинного навчання та AI не використовуються. Через це зростає потреба у фахівцях, які створюють такі рішення. У спеціалістів високого рівня повинні бути компетентності у сфері обробки природної мови і комп'ютерного зору, досвід роботи з Big Data-інструментами (Apache Spark, Hive, Hadoop, MapReduce, HDFS) і різними бібліотеками Python і R. Фахівці сходяться на думці, що у недалекому майбутньому голосові асистенти стануть кориснішими, захисні програми будуть досконалішими, безпілотні автомобілі зможуть самі орієнтуватися в просторі й скорочувати затори, а пацієнти отримають індивідуальну медичну допомогу. Міністерство цифрової трансформації України розробило каталог освітніх програм для вступників університетів з інформацією про підготовку фахівців у галузі штучного інтелекту [26]. У каталозі — аналіз даних, машинне навчання, комп'ютерний зір, розпізнавання образів, обробка природної мови. Заклади освіти можуть знайти аналогічні програми, партнерів-роботодавців, меценатів та студентів. У рамках ініціативи GlobalLogic Education впроваджена магістерська програма дуальної освіти зі штучного інтелекту на базі факультету кібернетики КНУ імені Т. Шевченка, де відкрито навчальну ML-лабораторію. Заняття в такій лабораторії підготують молодь до роботи з Big Data, а також сприятимуть засвоєнню методик і навичок практичної роботи в царині машинного

навчання, зокрема із застосуванням підходів, що базуються на використанні нейромереж. Серед найпоширеніших продуктів такого типу: віртуальні голосові помічники, пошукові системи, чат-боти та системи відеоспостереження, що попереджають правопорушення. Магістри та випускники факультету матимуть чудову нагоду здобути практичні навички з розробки програмного забезпечення, а також виконати дипломне дослідження під керівництвом досвідчених працівників компанії.

**Роботизовані технології автоматизації процесів.** У сучасному світі динамічного розвитку технологій Індустрії 4.0 робототехніка стає незамінним та унікальним засобом розв'язання різноманітних завдань не тільки на виробництві й у торгівлі, а й у таких галузях, як транспорт, охорона здоров'я, рятувальні операції, освіта, сільське господарство та військова сфера. Поєднуючи наукові досягнення в електроніці, механіці, кібернетиці, телемеханіці, мехатроніці, інформатиці, радіотехніці й електротехніці, робототехніка стала закономірним інструментом сучасної виробничої ланки.

За оцінкою Світового економічного форуму частка світового виробництва, яка хоча б деякою мірою роботизована, досягає 29 %. За прогнозами дослідницької компанії "ABI Research", ринок роботів до 2030 р. досягне \$ 277 млрд [27]. Бурхливо розвивається сервісна робототехніка, модернізація виробництв йде повним ходом — заводи впроваджують «розумних» роботів, і машини зі штучним інтелектом дають змогу промисловцям економити від 15 % до 90 % на операційних витратах. Серед перспективних напрямів для розвитку та інвестицій — коботи (колаборативні роботи, які можуть працювати разом з людиною), роботи для промисловості, безпілотики, роботи-маніпулятори, мобільні (у тому числі логістичні роботи), медичні роботи і розвиток систем, які допомагають у взаємодії людини з роботом.

В Україні ситуація у робототехнічній галузі ускладнюється та гальмується внаслідок як загальної економічної ситуації, так і недостатнього рівня державного фінансування саме інноваційної сфери. Незважаючи на наявний інтелектуальний потенціал, науково-дослідну базу, розгалужену систему робототехнічної освіти для дітей і підлітків, низку громадських ініціатив, спостерігається

низький рівень роботизації промисловості та переважання іноземних автоматизованих систем на промислових виробництвах. Відсутнє саме визначення терміна «робот», і як наслідок — відсутня система збору статистичної інформації щодо розроблення та впровадження робототехніки. Такі виклики сучасності вимагають від освіти дати майбутнім інженерам, технологам, конструкторам, проектувальникам у галузі робототехніки глибокі знання і практичні навички з новітніх технологій для підготовки їх до діяльності у цифровій економіці. Фахівці повинні мати високий рівень комп'ютерної, електротехнічної та системотехнічної підготовки, бути здатні розв'язувати задачі автоматизації діючого виробництва і створення нових систем автоматизації на базі інтелектуальних робототехнічних систем. Об'єктами їхньої професійної діяльності є системи та пристрої керування, реалізовані на мікропроцесорах та мікрокомп'ютерах; електромеханічні системи автоматизації, автоматизовані технологічні системи, комп'ютеризовані адміністративні та соціальні системи, комп'ютерні мережі. Як приклад успішної співпраці ЗВО та компаній можна навести науково-дослідну лабораторію Мехатроніки і робототехніки Одеської національної академії харчових технологій, на базі якої функціонує південний тренінговий центр італійської компанії «Samozzi» — провідного світового виробника промислової пневматики. Лабораторія стала повноправним членом Асоціації робототехніки України, що дає їй право брати участь в етапах міжнародних змагань на швидкість серед портативних робототехнічних комплексів зі штучним інтелектом. З метою підвищення інтересу молоді до точних наук і сучасних технологій команда Kyiv Smart City, навчальний STEM-центр «Сократ» і технічний партнер — компанія 2D3D створили лігу FIRST Tech Challenge в Україні для проведення тренувальних та конкурсних змагань з робототехніки [28].

#### **Екосистемний підхід**

#### **для цифрової трансформації економіки України**

Дж. Мур визначив екосистеми як спільноти, що динамічно розвиваються і складаються з гравців різних секторів, які спільно розвивають компетенції навколо інновації, з якою вони працюють в кооперативній і конкурентній логіці [29]. Концепція екосистем дає змогу розглядати її з точки зору взаємозв'язків і взаємовідно-

син між складовими компонентами. Бізнес-екосистема — це мережа різних організацій, що беруть участь у наданні певного товару чи послуги як за допомогою конкуренції, так і співпраці. Кожен член екосистеми впливає і зазнає впливу інших, що створює відносини, які постійно розвиваються [30]. Освіта як соціальна система — це органічна складна і цілісна система, в якій всі фактори (освітня установа, педагогічні (науково-педагогічні) працівники, здобувачі освіти) органічно пов'язані, що, своєю чергою, демонструє послідовність і протиріччя, динамічну рівновагу й дисбаланс. У роботі [31] соціально-економічна екосистема розглянута як локалізований комплекс організацій, бізнес-процесів, інноваційних проєктів й інфраструктурних утворень, здатний до тривалого самостійного функціонування за рахунок кругообігу ресурсів.

Модель промислової інноваційної екосистеми (рис. 1.9.1) згідно зі стратегією Індустрія 4.0 [32] складається із зон керування інноваційним циклом, інноваторів, інкубації, досвіду та тестування, які в цілому відповідають різним зонам кривої сприйняття інновацій, відомої як *adoption curve* [33].

Рольова сегментація в моделі промислової інноваційної екосистеми представлена такими акторами:

- зона керування інноваційним циклом включає різноманітні кластери та асоціації, агентства з розвитку, інновацій та інвестицій;

- зона інноваторів включає організації, що зазвичай генерують інновації: університети, лабораторії, КБ великих компаній, НДІ чи стартапи;

- зона інкубації включає організації, що створюють можливості для інкубації та акселерації інноваторів: інкубатори та акселератори, приватні неформальні інвестори (*business-angels*), різноманітні фонди, донорські організації тощо;

- зона досвіду та тестування є кінцевою для швидкої апробації та виходу інновацій на ринок і включає організації, що сприяють швидкому тестуванню, апробації та сертифікації нових інноваційних продуктів і рішень.

Станом на 2020 р. тільки ІТ-галузь України відповідає вимогам стратегії *Industry 4.0*. В Україні існують 20 регіональних ІТ-кластерів, вісім ІТ-асоціацій, 10 ІТ-інкубаторів та ІТ-акселераторів, 50 HUBs, 19 венчурних фондів, 4 технопарки, понад 100 центрів R&D [34].

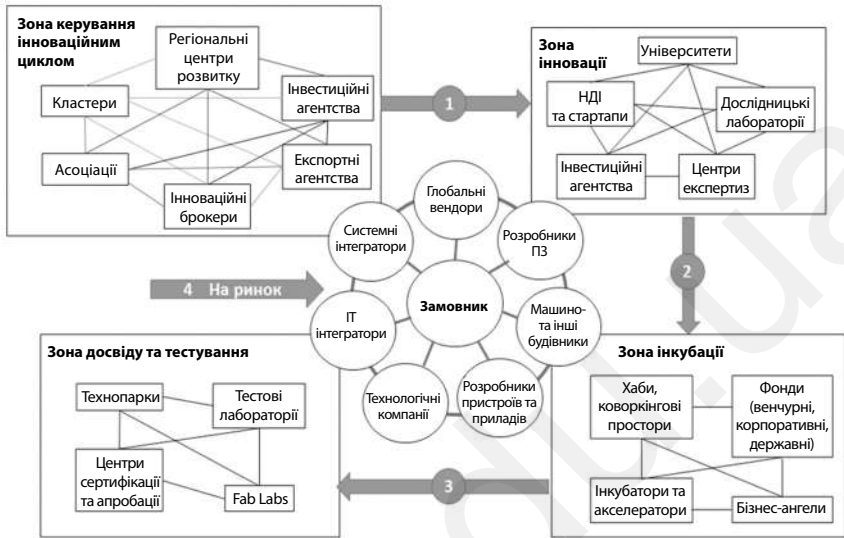


Рис. 1.9.1. Модель інноваційної екосистеми промислових хайтеків

Крім того, функціонує безліч коворкінгових просторів, які служать центрами розвитку для молодих стартапів. Але ці екосистеми, залучаючи кращі молоді таланти України, здебільшого працюють не на українських замовників, а на глобальні ринки.

Для реалізації Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства, Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні, Стратегії сталого розвитку України до 2030 року необхідні кваліфіковані кадри, які відповідатимуть потребам ринку, спроможні постійно розвиватися та адаптуватися до технологій світу, що швидко змінюються.

**Інноваційні освітні екосистеми.** Ортодоксальність класичної системи освіти не дає змоги гнучко підлаштовуватися під виклики науково-технічного прогресу; не може виявити таланти і дати можливість вибудувати індивідуальні освітні траєкторії реалізації особистісного потенціалу здобувача освіти, що формується з урахуванням його здібностей, інтересів, потреб, мотивації, можливостей і досвіду. Розрив між підготовкою в системі освіти і реальними потребами ринку призводить до відриву випускників шкіл і ЗВО від прикладних задач. Відсутність у рамках класичної

освітньої системи креативної складової знижує у людей прагнення вчитися.

Екосистемний підхід до освіти може продемонструвати велику результативність і ефективність порівняно з традиційними ієрархічними моделями, зокрема:

- дає змогу урізноманітнити навчальні ресурси й освітні маршрути для здобувачів освіти;
- забезпечити взаємний обмін освітніми ресурсами і новими способами та засобами навчання;
- забезпечити необхідну динаміку оновлення змісту освітніх програм відповідно до потреб ринку праці та розвитку економіки;
- включити формальні та неформальні освітні інституції;
- реалізувати розподілене управління, засноване на взаємному інтересі та підтримці професійних спільнот, горизонтальних і висхідних зв'язках;
- підвищити мотивації здобувачів освіти для свого майбутнього успіху і розвитку.

Для формування компетентностей, актуальних для цифрової трансформації суспільства, цифрова освітня екосистема повинна реалізувати нові формати освіти:

- індивідуальні освітні траєкторії, що визначаються на основі мотивацій, здібностей, професійної придатності та бажань учнів;
- студентоцентроване навчання з учнями, що можуть самостійно навчатися і самостійно управлятися;
- застосовувати активні методи навчання (ділові та рольові ігри, бізнес-кейси тощо);
- проектно-орієнтований і практико-орієнтований підходи з виконанням реальних проектів у командній роботі;
- змішане навчання (комбінація онлайн-курсів і аудиторного навчання);
- мобільне навчання (навчання в будь-який час, у будь-якому місці);
- персоналізована модель освіти з індивідуальним ментором і тьютором;
- кластерна модель освіти з організацією мережевої взаємодії університетів і компаній роботодавців.

Нові формати освіти використовують цифрові технології, побудовані на основі методів штучного інтелекту, наприклад інформаційні технології адаптації навчального матеріалу до здібностей і можливостей здобувачів освіти; інтелектуальні інтерактивні підручники з вбудованим штучним інтелектом; інформаційні технології оцінювання компетентностей студентів у реальному часі із формуванням рекомендацій щодо напрямів їхнього розвитку; інтелектуальні технології підвищення мотивації здобувачів освіти до навчання.

Концептуальна модель цифрової освітньої екосистеми може складатися з таких платформ (рис. 1.9.2):

- побудови індивідуальної освітньої траєкторії;
- освітніх сервісів;
- глобальна освітня платформа (доставка контенту);
- віртуальної академічної мобільності;
- взаємодії з компаніями роботодавців;
- керування знаннями;
- цифрового тьютора-ментора;
- наукових досліджень;
- трансферу технологій та підприємництва.

**Концепція кластерної моделі освіти України.** Значне відставання України в розвитку освіти, прикладної науки і комерціалізації наукових розробок свідчить про необхідність створення виробничо-освітньо-наукових центрів, спрямованих на інтеграцію освіти, науки і високотехнологічного бізнесу, зокрема ІТ-індустрії. На сучасному етапі розвитку освіти і ринку праці в Україні кон'юнктура ринку освітніх послуг не відповідає кон'юктурі ринку трудових ресурсів, що призводить до необхідності розробляти нові механізми взаємодії сфери надання освітніх послуг і сфери виробництва. Такою організаційною формою взаємодії може бути освітньо-виробничий кластер.

Кластери — це складні динамічні системи мережевого типу, де юридично самостійні партнери розвивають відносини інтерактивної кооперації. Автори пропонують розглядати освітньо-виробничий кластер як мережу зацікавлених соціальних партнерів для розробки та апробації інновацій, пов'язаних з реалізацією безперервної політехнічної, технологічної освіти з метою підготовки майбутніх професійних кадрів для стратегічно значимих і наукомістких виробництв міста й області.





Рис. 1.9.2. Концептуальна модель цифрової освітньої екосистеми

Основні цілі такого мережевого партнерства полягають в:

- мінімізації витрат на розробку освітнього продукту;
- максимізації якості освітнього продукту;
- залученні висококваліфікованих кадрів для участі в освітньому процесі;
- проектно-орієнтованому навчанні відповідно до технологічного процесу компаній-учасників кластера для швидкої адаптації випускників університетів до виробничого процесу підприємств;
- створенні стійкого бренду освітніх організацій і освітньо-виробничого кластера в цілому для всіх типів споживачів освітніх послуг.

Взаємодія освітніх, управлінських, наукових, громадських та бізнес-структур може привести до ефективного й оптимального вирішення проблем в освіті. Кластер як відкрите співтовариство автономних, географічно близьких і функціонально різноманітних

партнерів реалізує універсальну модель колаборації, відому як «потрійна спіраль» (Triple Helix model) [35]. Під колаборацією розуміється такий механізм взаємодій, коли учасники кооперації постійно обмінюються знаннями, взаємно використовують свої активи і координують власні рішення. У науковій літературі цей механізм називається «колаборативним керуванням» (collaborative governance). Графічно принцип колаборації представляється у вигляді потрійної спіралі.

Модель колаборації формує механізм саморозвитку складних нелінійних систем будь-якого рівня, заснований на резонансній взаємодії трьох ключових підсистем: науки (університетів), бізнесу та держави. Витісняючи традиційний механізм керування за участю ієрархічного центру, ця модель визначає інституційний устрій як інноваційних кластерів, так і всієї інноваційної економіки, сприяючи її кластеризації. Завдяки безперервним взаємодіям держави, науки (університетів) і бізнесу в кластерній системі напрацьовуються нові знання, які поширюються в ході комунікацій між усіма економічними агентами, що надає системі цілісності й динамічної стійкості [36]. Чим краще розвинене мережеве партнерське середовище, чим більше в ньому утворюється локальних потрійних спіралей, тим вище інноваційний потенціал національної економіки і тим ширше її можливості для сталого саморозвитку. Прикладом можуть служити скандинавські економіки, що мають найбільш розвинену організаційну модель зростання [37].

Функціональне переплетення трьох множин відносин (науки, бізнесу і держави) у режимі потрійної спіралі генерує два взаємопов'язаних ефекти: зниження рівня невизначеності при прийнятті рішень завдяки підвищенню адаптивності учасників мережі й усій системи в цілому до безперервних змін зовнішнього середовища; безперервне створення нових сутностей і знань. Таким чином у мережевих структурах виникає та особлива синергетика конкурентних виграшів, на яку вказує кластерна концепція М. Портера [38]. Своєю чергою, перехід економічних систем до кластерної структури забезпечує їм інтегральний синергетичний ефект безперервного підвищення конкурентоспроможності. Завдяки механізму потрійних спіралей в економіці утворюється інноваційне середовище, а її зростання стає інноваційно орієнтованим. В Україні на сучасному

етапі переважають виключно парні формати зв'язків, де в ролі незмінного учасника присутня держава. Бізнес і наука будують свої відносини не безпосередньо, а опосередковано, через відомства і чиновників. У результаті розвиток інноваційного процесу та диверсифікація економіки блокуються.

**Бізнес-модель сучасного університету.** У моделі потрійної спіралі сучасний університет стає не просто освітньою, а й дослідницькою і підприємницькою організацією. Компанії виконують частково роль університетів, створюючи спільні партнерства з наукою. А влада підтримує конфігурацію спіралі, часто виступаючи в ролі венчурного капіталіста.

Мотиваційні чинники, які спонукають університети, компанії та державні установи до взаємодії, такі [39]:

- вдосконалення інфраструктури університету;
- фінансова підтримка університетських досліджень;
- доступ до оновлених технічних знань, до мереж створення і використання знань, до прикладних знань із застосуванням в академічних дослідженнях і навчальному процесі;
- доступ до нових технологій і процесів, що дає змогу досягти конкурентних переваг;
- набір кваліфікованого персоналу і підвищення кваліфікації працівників;
- інтеграція з ринком праці та пропозиції щодо роботи для випускників;
- стажування та стипендії для викладачів;
- оплата роялті при передачі технологій.

Мотиваційні чинники, які важливі для компаній у процесі їх взаємодії з університетами, такі:

- наявність ефективної системи захисту прав інтелектуальної власності в університетах;
- наявність податкового кредиту при співробітництві з університетами;
- доступ до фізичних ресурсів університету та атестації своїх співробітників;
- доступ до дослідницьких і консалтингових послуг університету;
- поліпшення громадського іміджу компанії в суспільстві;
- збільшення продажів і прибутковості;

- створення інноваційної культури у своїх установах;
- набір випускників для виконання проєктів.

Взаємодія інститутів влади з університетами і бізнесом має такі переваги:

- розвиток пріоритетних сфер наукових досліджень, реалізація наукового потенціалу країни;
- активізація ділової активності шляхом надання пільг, звільнення від податків бізнес-структур, які співпрацюють з університетами;
- підвищення рівня інноваційності економіки, зростання людського та інтелектуального капіталу, зменшення залежності від фізичних ресурсів;
- соціально-економічний розвиток регіонів, розвиток регіональних науково-технологічних центрів;
- інтеграція в міжнародний освітній і науковий простір, міжнародна комерціалізація знань і трансфер технологій;
- зростання конкурентоспроможності країни.

Розглянуті мотиваційні чинники вимагають розвитку такої моделі університету, яка підтримувала б навчальний процес, інноваційно-дослідницьку діяльність університетів і підприємництво (рис. 1.9.3).



Рис. 1.9.3. Бізнес-модель сучасного університету

Стратегічне партнерство між ІТ-освітою та ІТ-галуззю, впровадження реальних виробничих технологій у навчальний процес — це шлях до результативної підготовки висококваліфікованих ІТ-фахівців відповідно до вимог ІТ-індустрії.

**Досвід реалізації інноваційної освітньої екосистеми та освітньо-виробничих кластерів в Україні.** Школу стартапів “Sikorsky Challenge”, що створена в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за підтримки Наукового парку «Київська політехніка», можна вважати першою цілісною інноваційною екосистемою, заснованою на базі ЗВО [40]. З 2012 р. інвестиційну підтримку отримало майже 80 проєктів, презентованих у Sikorsky Challenge. У 2018 р. школи стартапів поширюється на 10 регіональних технічних університетів України. Аналіз 175 проєктів, поданих у 2019 р., демонструє рівномірний розподіл за різними галузями та областями. Більше 50 % заявок стосується промислових секторів економіки. Склад інноваційної екосистеми “Sikorsky Challenge” включає стартап-школа “Sikorsky Challenge”, фестиваль інноваційних проєктів “Sikorsky Challenge”, бізнес-інкубатор “Sikorsky Challenge”; інноваційне технологічне середовище “Sikorsky Lab”; центр інтелектуальної власності; венчурний фонд “Sikorsky Challenge”.

Прикладом успішної взаємодії ІТ-індустрії та ІТ-освіти може слугувати корпоративний університет, створений ІТ-компанією “SoftServe” [41], у рамках якого функціонує кілька проєктів, зокрема: центр розвитку талантів (навчальні рішення для талановитих людей, які розпочинають кар’єру в ІТ); бізнес-школа (навчальні рішення для підвищення лідерських та управлінських компетентностей); технологічна школа (навчальні рішення для розвитку технічних навичок та компетентностей); центр міжкультурних комунікацій (підвищення рівня володіння національною та іноземною мовами); сертифікаційний центр (отримання міжнародних сертифікацій Microsoft, Oracle, PMI, Amazon, Salesforce, iSQI); центр навчальної майстерності (впровадження найкращих методів та ефективних інструментів керування навчанням з урахуванням світових тенденцій та інновацій); команда e-learning (розробка дистанційних навчальних рішень для конкретних бізнес-кейсів, створення медійного контенту для навчальних програм). Деякі показники

діяльності станом на 2020 р.: 1150 унікальних навчальних рішень, 15000 учасників навчальних програм, 5100 випускників, 5300 вида-них сертифікатів.

Центр інноваційних технологій, відкритий в Національному економічному університеті імені В. Гетьмана компанією IT-Enterprise [42], надає студентам можливість набути необхідних практичних навичок у галузі підприємництва та бізнесу. Навчальні програми в Центрі розробляються спеціалістами IT-Enterprise та враховують багаторічний досвід компанії як в Україні, так й у Європі, що дає змогу окреслити цілісну картину комплексного рішення для управління підприємством, а саме: сучасні IT-рішення для систематичної організації роботи; бухгалтерський облік господарських та бюджетних установ; процедури онлайн-закупівель і тендерів; рішення за програмою Індустрія 4.0 для українських підприємств.

Висновки. Обґрунтовано доцільність зміни освітньої парадигми відповідно до вимог Індустрії 4.0. Для цього проаналізовані цифрові тренди розвитку економіки та визначені шляхи цифрової трансформації економіки й суспільства. Об'єктивною необхідністю є розробка та впровадження в Україні моделі інноваційної освітньої екосистеми. Розкрито складові інноваційної освітньої екосистеми та механізми взаємодії суб'єктів освітньої екосистеми, основою якої можуть стати освітньо-виробничі кластери як універсальна модель колаборації складних нелінійних систем. Описана роль університетів у моделі колаборації як моделі потрійної спіралі, яка перетворює університет на інноваційний підприємницький хаб. Реалізація моделі інноваційної освітньої екосистеми показана на прикладі інноваційної екосистеми "Sikorsky Challenge".

#### ДЖЕРЕЛА

1. Towards a Reskilling Revolution: A Future of Jobs for All. Insight Report, 2018. URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_FOW\\_Reskilling\\_Revolution.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_FOW_Reskilling_Revolution.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

2. Valero A., Van Reenen J. The economic impact of universities: Evidence from across the globe. *Economics of Education Review*. 2019. No. 68. P. 53–67.

3. The IMD World Talent Ranking. URL: <https://worldcompetitiveness.imd.org/rankings/Talent> (дата звернення: 20.01.2021).

4. Дослідження сфери освіти в Україні. Огляд від *World Bank Group*. URL: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/790931568661644788/pdf/Overview.pdf> (дата звернення: 20.01.2021).

5. The Global Competitiveness Report 2019. URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

6. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки: Розпорядження КМУ від 17 січня 2018 р. № 67-р. Дата оновлення: 17.09.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#n13> (дата звернення: 20.01.2021).

7. Проект Цифрова адженда України — 2020. URL: <https://uccr.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf> (дата звернення: 20.01.2021).

8. Ranking Web of Universities. URL: <https://www.webometrics.info/en/Europe/Ukraine%20> (дата звернення: 20.01.2021).

9. QS World University Rankings 2020. URL: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020> (дата звернення: 20.01.2021).

10. World Intellectual Property Indicators Report 2020. URL: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_941\\_2020.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2020.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

11. Statistical Country Profiles 2020. URL: [https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country\\_profile/](https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/) (дата звернення: 20.01.2021).

12. Global Innovation Index 2020. URL: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_gii\\_2020/ua.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2020/ua.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

13. Шваб К. Четверта промислова революція. Формуючи четверту промислову революцію. Х.: Клуб сімейного дозвілля. 2019, 416 с.

14. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *Working Paper*. 2015. No. 1. 16 p.

15. Матвійченко О.С. Концепція Індустрія 4.0: зміст, можливості та ризики. *БізнесІнформ*. 2018. № 12. С. 91–99. URL: [https://www.business-inform.net/export\\_pdf/business-inform-2018-12\\_0-pages-91\\_99.pdf](https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2018-12_0-pages-91_99.pdf) (дата звернення: 15.01.2021).

16. Сигида Л.О., Бондаренко А.Ф. Інновації та Індустрія 4.0: бібліометричний аналіз. *БізнесІнформ*. 2020. № 6. С. 41–47.

17. Юрчак О.В. Landscape Industry 4.0 in Ukraine. Аналітичний огляд. АППАУ. 2019. С. 74. URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/landscape/> (дата звернення: 15.01.2021).

18. Цюняк О.П. Інноваційне освітнє середовище як чинник професійного становлення майбутніх магістрів початкової освіти. *Теорія і методика професійної освіти*. 2019. Вип. 14, т. 1, С. 175–178.

19. Investment in Digital Transformation will amount to USD 5 trillion between 2020 and 2030 according to new research from Transforma Insights. URL:

<https://transformainsights.com/news/digital-transformation-USD5trillion-2020-2030-transforma-insights> (дата звернення: 20.01.2021).

20. Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року: Резолюція Генеральної Асамблеї ООН від 25 вересня 2015 р. URL: [https://www.ua.undp.org/content/dam/ukraine/docs/SDGreports/Agenda2030\\_UA.pdf](https://www.ua.undp.org/content/dam/ukraine/docs/SDGreports/Agenda2030_UA.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

21. Абрамов В.О., Литвин О.С. Методичні аспекти викладання дисциплін напрямку «Інтернет речей». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2018. №1 (1). С. 73–85. URL: <http://oaji.net/articles/2020/8096-1594978369.pdf> (дата звернення: 20.01.2021).

22. Internet of Things (IoT) — Statistics & Facts. URL: <https://www.statista.com/topics/2637/internet-of-things/> (дата звернення: 20.01.2021).

23. Reinhart Rj. Most Americans Already Using Artificial Intelligence Products Available. URL: <https://news.gallup.com/poll/228497/americans-already-using-artificial-intelligence-products.aspx> (дата звернення: 20.01.2021).

24. NATO Science & Technology Organization: Science & Technology Trends 2020–2040. URL: [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST\\_Tech\\_Trends\\_Report\\_2020-2040.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

25. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: Розпорядження КМУ від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. Дата оновлення: 02.12.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#n8> (дата звернення: 20.01.2021).

26. Освітні програми в сфері штучного інтелекту. URL: [https://thedigital.gov.ua/lms\\_ai](https://thedigital.gov.ua/lms_ai) (дата звернення: 20.01.2021).

27. Robotics Industry Set for Seismic Change as Growth Shifts from Fixed Automation to Mobile Systems in Enterprise. URL: <https://www.abiresearch.com/press/robotics-industry-set-seismic-change-growth-shifts-fixed-automation-mobile-systems-enterprise/> (дата звернення: 20.01.2021).

28. В Україні вперше відбудуться тренувальні змагання з робототехніки FIRST Tech Challenge. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2875631-v-ukraini-vperse-vidbudutsa-zmaganna-z-robototehniki.html> (дата звернення: 20.01.2021).

29. Moor J. F. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*. 1993. No. 71 (3). P. 75–86.

30. Quan S.J., Wang Yu.L. Study of the structure and characteristics of the higher education ecosystem in Hong Kong. *Journal of Higher Education Management*. 2017. No. 11. P. 117–124.

31. Клейнер Г.Б. Социально-экономические экосистемы в свете системной парадигмы. *Системный анализ в экономике — 2018* : сб. труд. V Международ. науч.-практич. конф. — Биеннале (21–23 ноября) / науч. ред. Г.Б. Клейнер, С.Е. Щепетова. Москва, 2018. С. 5–14.



32. Стратегія розвитку «Індустрія 4.0». URL: <https://mautic.appau.org.ua/asset/42:strategia-rozvitku-4-0-v3pdf> (дата звернення: 20.01.2021).

33. Diffusion of innovations. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_of\\_innovations](https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion_of_innovations) (дата звернення: 20.01.2021).

34. Tech Ecosystem Guide to Ukraine 2019. URL: [https://data.unit.city/tech-guide/Tech\\_Ecosystem\\_Guide\\_To\\_Ukraine\\_En-1.1.pdf](https://data.unit.city/tech-guide/Tech_Ecosystem_Guide_To_Ukraine_En-1.1.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

35. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The Triple Helix-University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development. *EASST Review*. 1995. Vol. 14, no. 1. P. 14–19.

36. Leydesdorff L. The Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Encyclopedia of Creativity, Innovation, and Entrepreneurship*. 2012. P. 18. URL: <http://ssrn.com/abstract=1996760> (дата звернення: 20.01.2021).

37. Northern lights — Special Report the nordic countries. *The Economist*. 2013. URL: [https://www.economist.com/sites/default/files/20130202\\_nordic\\_countries.pdf](https://www.economist.com/sites/default/files/20130202_nordic_countries.pdf) (дата звернення: 20.01.2021).

38. Porter M. Clusters and Competition: New Agendas for Companies, Governments, and Institutions. *On Competition*: HBS Publishing, Boston. 2008. P. 213–299.

39. Kovaliuk T., Kobets N. Cluster Model of IT Education in Ukraine. 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS). 2020. P. 1–6.

40. Инновационная экосистема Sikorsky Challenge. URL: <https://kpi.ua/ru/eoaino> (дата звернення: 20.01.2021).

41. Корпоративна навчальна екосистема для розвитку компетенцій та можливостей працівників. URL: <https://www.softserveinc.com/uk-ua/university> (дата звернення: 20.01.2021).

42. Центр обучения IT-Enterprise. URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/architecture-security/centr-obuchenija-it-enterprise> (дата звернення: 20.01.2021).

# МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ І ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

## 2.1. ОПТИМІЗАЦІЙНІ ФУНКЦІЇ КЕРУВАННЯ В МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ЕВОЛЮЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

**Марія Астаф'єва**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

За останні десятиліття теорія оптимального керування інтенсивно розвивається, що пояснюється не лише наявністю складних і цікавих суто математичних проблем, а й широким спектром прикладних задач у різних галузях науки і людської діяльності: фізиці, економіці, біології, екології, медицині, енергетиці та ін. Нові наукові (теоретичні) й реальні (прикладні) задачі відрізняються своєю складністю, що зумовлює не лише розширення сфери застосування математичного моделювання, а й удосконалення самих моделей у напрямі більшої їх точності та повноцінності. Особливо гостро в сучасних умовах стрімкого розвитку науки, техніки, інформаційних технологій постає проблема керуваності системи (процесу). Як відомо, кожне завдання оптимального керування містить такі складові: 1) математичну модель об'єкта керування; 2) мету керування (т. зв. критерій якості); 3) певні обмеження на стан (траєкторію) системи, тривалість процесу керування тощо, при яких має бути забезпечена мета керування.

Математичній теорії керування присвячено дуже багато монографій, підручників і наукових статей українських та зарубіжних авторів. Основи сучасної теорії оптимального керування заклали Л.С. Понтрягін, В.Г. Болтянский та ін. [5]. Методи варіаційного числення в оптимізаційних задачах висвітлено, наприклад, у дослідженнях [3–4]. Вивченню лінійних та нелінійних систем диференціальних рівнянь присвячені монографії [2–6]. Питання теорії керування лінійних систем, зокрема й методи аналізу систем з невідомими параметрами, розглядаються в [7]. Актуальною є задача знаходження оптимізаційної функції керування в лінійних диференціальних рівняннях та їх системах, яка забезпечує мінімум функціонала певного виду. Для лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами вона розглянута в [8], суть розв'язання викладено в [1].

Далі розглянемо оптимізаційну задачу математичної теорії керування (мінімізація ризиків, досягнення потрібного результату за найкоротший час, економія енергоресурсів тощо), у якій еволюційний процес описується лінійними диференціальними рівняннями, а функція керування задається невластним інтегралом.

### 1. Скалярний випадок.

Нехай математичною моделлю процесу є скалярне диференціальне рівняння:

$$\dot{x} = ax + bu, \quad (1.1)$$

де  $a, b$  — деякі сталі коефіцієнти;  $u(t)$  — скалярна функція керування.

Задано початкову умову:

$$x|_{t=0} = x_0. \quad (1.2)$$

Потрібно знайти таку функцію  $u = u(t)$ , визначену і неперервну на півосі  $[0, +\infty)$ , щоб розв'язок  $x = x(t)$  рівняння (1.1) прямував до нуля на  $+\infty$  й, крім того, інтеграл

$$I[u] = \int_0^{+\infty} (u^2(t) + x^2(t)) dt \quad (1.3)$$

набував найменшого значення.

Шукатимемо керування, яке забезпечує мінімум функціонала (1.3), у вигляді:

$$u(t) = -kx(t). \quad (1.4)$$

Зазначимо, що при цьому відповідний розв'язок  $x(t)$  разом із функцією керування прямує до нуля на  $+\infty$ , що гарантує збіжність інтеграла (1.3).

Щоб знайти значення коефіцієнта  $k$ , розглянемо допоміжну функцію:

$$V(t) = s \cdot x^2(t), \quad (1.5)$$

де  $x(t)$  — деякий розв'язок рівняння (1.1) з початковою умовою (1.2), а коефіцієнт  $s$  залишається поки що невизначеним.

Диференціюючи рівність (1.5), отримаємо:

$$\dot{V}(t) = 2s \cdot x(t) \cdot \dot{x}(t) = 2sx(t)(ax(t) + bu(t)).$$

Останнє співвідношення інтегруємо в межах від 0 до  $T$  і переходимо до границі при  $T \rightarrow \infty$ . Отримуємо:

$$0 = V(0) + \int_0^{+\infty} 2sx(t)[ax(t) + bu(t)] dt.$$

Додаючи цю рівність з (1.3) і враховуючи (1.5), дістанемо:

$$\begin{aligned} I[u] &= V(0) + \int_0^{+\infty} [u^2 + 2sbux + x^2 + 2sax^2] dt = \\ &= sx_0^2 + \int_0^{+\infty} [(u + sbx)^2 + (1 + 2as - b^2s^2)x^2] dt. \end{aligned}$$

Доберемо  $s$  так, щоб виконувалася умова  $1 + 2as - b^2s^2 = 0$ .

Це буде, зокрема, якщо  $s = s_0 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b^2}$ . Тепер  $I[u]$  набуває вигляду:

$$I[u] = s_0 x_0^2 + \int_0^{+\infty} (u(t) + s_0 b x(t))^2 dt. \quad (1.6)$$

Бачимо, що функціонал (1.6), а з ним і (1.3) набуває найменшого значення при умові  $u(t) + s_0 b x(t) = 0$ . Отже, в (1.4)  $k = s_0 b$ . Урахувавши це і підставляючи (1.4) у рівняння (1.1), отримуємо:

$$\dot{x} = ax + b(-s_0 b)x = -x \cdot \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Розв'язок цього рівняння, який задовольняє початкову умову (1.2)

$$x = x(t) = x_0 e^{-t\sqrt{a^2 + b^2}},$$

і відповідна функція керування  $u = u(t) = -\frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b} x_0 e^{-t\sqrt{a^2 + b^2}}$  забезпечує мінімум функціонала (1.3). Значення цього мінімуму

$$\min I[u] = s_0 x_0^2 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b^2} \cdot x_0^2.$$

Отже, для будь-яких дійсних  $a, b$  ( $b \neq 0$ ) і фіксованого  $x_0$  знайдено функцію керування  $u(t)$ , при якій функціонал (1.3) досягає найменшого свого значення.

## 2. Векторний випадок.

Розглянемо тепер випадок, коли еволюційний процес описується лінійною системою зі сталими коефіцієнтами:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad x \in R^n, \quad u \in R^m, \quad (2.1)$$

початкова умова:  $x(t_0) = x_0$ .

Припускаємо, що існують неперервні вектор-функції керування  $u(t)$ ,  $t \in R_+$ ,  $u(t) \rightarrow 0$ , такі, що розв'язок системи (2.1) із заданою

початковою умовою  $x(t) = e^{At} \left( x_0 + \int_0^t e^{-A\tau} Bu(\tau) d\tau \right)$  прямує до нуля

на нескінченності. На множині таких вектор-функцій досліджуємо на мінімум функціонал

$$I[u] = \int_0^{+\infty} [\langle \Theta u(t), u(t) \rangle + \langle Mx(t), x(t) \rangle] dt, \quad (2.2)$$

де  $\Theta$ ,  $M$  — сталі квадратні матриці розмірності  $m \times m$  та  $n \times n$  відповідно. Причому матриця  $\Theta$  додатно визначена, а  $M$  — невід'ємна.

Як і в скалярному випадку (п. 1), шукаємо  $u(t)$  у вигляді:

$$u(t) = -K \cdot x(t),$$

де  $K$  — деяка стала прямокутна матриця.

Розглядаючи допоміжну квадратичну форму:

$$V(x) = \langle Sx, x \rangle, \quad x \in R^n,$$

і виконавши ті ж процедури, що й у скалярному випадку (диференціювання, наступне інтегрування, перехід до границі, почленне додавання відповідних рівностей), знаходимо:

$$K = \Theta^{-1} B^T S.$$

У результаті виявиться, що для мінімізації функціонала (2.2)  $S$  має бути розв'язком матричного рівняння Ріккати

$$-SNS + SA + A^T S + M = 0, \quad (2.3)$$

де фіксована симетрична матриця  $N$  визначається рівністю  $N = B\Theta^{-1}B^T$ .

Якщо вдалося знайти розв'язок  $S$  цього рівняння, то оптимальне керування  $u(t)$  має вигляд:

$$u = -\Theta^{-1} B^T S \cdot \exp\left\{\left(A - B\Theta^{-1} B^T S\right)t\right\} \cdot x_0,$$

а мінімальне значення функціонала (2.2) дорівнює  $I_{\min} = \langle Sx_0, x_0 \rangle$ .

### 3. Приклад.

Для задачі Коші

$$\begin{cases} \ddot{x} - \dot{x} + 2x = u, \\ x(0) = 1, \dot{x}(0) = -1 \end{cases} \quad (3.1)$$

потрібно знайти функцію керування  $u = u(t)$ , визначену і неперервну на додатній півосі, при якій мінімізується функціонал

$$I[u] = \int_0^{+\infty} [4u^2(t) + 9x^2(t) + 26x(t)\dot{x}(t) + 41\dot{x}(t)] dt \quad (3.2)$$

і знайти мінімальне значення цього функціонала.

### Розв'язання

Перейдемо від лінійного диференціального рівняння другого порядку до системи двох рівнянь, вважаючи  $x_1(t) = x(t)$ ,  $x_2(t) = \dot{x}(t)$ . Тоді задача (3.1) набуває вигляду (3.3) — (3.4):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -2x_1 + x_2 + u, \end{cases} \quad (3.3)$$

$$x_1(0) = 1, \quad x_2(0) = -1, \quad (3.4)$$

а функціонал (3.2) запишеться так:

$$I[u] = \int_0^{+\infty} \left[ 4u^2 + \left\langle \begin{pmatrix} 9 & 13 \\ 13 & 41 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \right\rangle \right] dt. \quad (3.5)$$

Таким чином, отримаємо:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \Theta = 4, \quad M = \begin{pmatrix} 9 & 13 \\ 13 & 41 \end{pmatrix},$$

$$N = B\Theta^{-1}B^T = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{4} \cdot (0 \quad 1) = \frac{1}{4} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Невідому симетричну матрицю  $S = \begin{pmatrix} s_1 & s \\ s & s_2 \end{pmatrix}$  отримуємо із рівняння

Ріккати (2.3), яке у нашій задачі має вигляд матричного рівняння:

$$-\frac{1}{4} \begin{pmatrix} s^2 & ss_1 \\ ss_1 & s_2^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2s & s+s_1 \\ -2s_2 & s+s_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2s & -2s_2 \\ s+s_1 & s+s_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 9 & 13 \\ 13 & 41 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Звідси отримуємо систему рівнянь з трьома невідомими  $s_1, s_2, s_3$ :

$$\begin{cases} -\frac{1}{4}s^2 - 4s + 9 = 0, \\ -\frac{1}{4}ss_2 + s + s_1 - 2s_2 + 13 = 0, \\ -\frac{1}{4}s_2^2 + 2s + 2s_2 + 41 = 0. \end{cases}$$

$$\text{Із системи знаходимо: } S = \begin{pmatrix} 30 & 2 \\ 2 & 18 \end{pmatrix}.$$

Тоді  $K = \Theta^{-1}B^T S = \frac{1}{4} \cdot (0 \ 1) \cdot \begin{pmatrix} 30 & 2 \\ 2 & 18 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{9}{2} \end{pmatrix}$  й оптимальне керування  $u = -Kx = -\frac{1}{2}x_1 - \frac{9}{2}x_2$ , або для початкового рівняння  $u = -\frac{1}{2}x - \frac{9}{2}x$ . Підставивши знайдену функцію  $u$  в (3.1), дістаємо лінійне однорідне диференціальне рівняння зі сталими коефіцієнтами  $\ddot{x} + \frac{7}{2}\dot{x} + \frac{5}{2}x = 0$ . Його розв'язок, що задовольняє умову (3.2),  $x(t) = e^{-t}$ , а шукана функція керування  $u(t) = 4e^{-t}$ . Найменше значення функціонала дорівнює:

$$\min I[u] = \langle Sx_0, x_0 \rangle = \left\langle \begin{pmatrix} 30 & 2 \\ 2 & 18 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} \right\rangle = 30 \cdot 1 + 4 \cdot 1 \cdot (-1) + 18 \cdot (-1)^2 = 44.$$

#### 4. Задача мінімізації функціонала з векторною функцією керування і змінними коефіцієнтами.

Розглянемо диференціальне рівняння із векторною функцією керування

$$\dot{x} = a(t)x + b_1(t)u_1 + b_2(t)u_2 + \dots + b_m(t)u_m, \quad (4.1)$$

де  $a(t)$  і  $b(t)$  — деякі скалярні функції, неперервні й обмежені на півосі  $[0, +\infty)$ , початкова умова  $x(t_0) = x_0$ . Розглянемо функціонал вигляду:

$$I[u] = \int_0^{+\infty} (r_1(t)u_1^2(t) + r_2(t)u_2^2(t) + \dots + r_m(t)u_m^2(t) + q(t)x^2(t))dt, \quad (4.2)$$



де скалярні функції  $r_i(t), q(t) \in C^0(R_+)$  задовольняють умови:

$$r_i(t) \geq r_0, \quad i = \overline{1, m}, \quad r_0 = \text{const} > 0, \quad q(t) \geq 0 \quad \forall t \in R_+. \quad (4.3)$$

Аналогічно, як і раніше, розглянемо скалярну функцію:

$$V(t) = s(t) \cdot x^2(t), \quad (4.4)$$

де  $s(t)$  є поки що невизначеною скалярною функцією, неперервно диференційовною і обмеженою на  $R_+$ . Диференціюючи рівність (4.4), дістанемо:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \dot{s}(t)x^2(t) + 2s(t)x(t)\dot{x}(t) = \\ &= \dot{s}(t)x^2(t) + 2s(t)x(t) \left[ a(t)x(t) + \sum_{i=1}^m b_i(t)u(t) \right]. \end{aligned}$$

Отриману рівність інтегруємо від 0 до  $T$  і переходимо до границі при  $T \rightarrow \infty$ , отримуємо:

$$0 = V(0) + \int_0^{+\infty} \left\{ \dot{s}(t)x^2(t) + 2s(t)x(t) \left[ a(t)x(t) + \sum_{i=1}^m b_i(t)u(t) \right] \right\} dt. \quad (4.5)$$

Праву частину рівності (4.5) додамо до правої частини (4.2), отримуємо запис функціонала (4.2) в іншому вигляді:

$$\begin{aligned} I[u] &= V(0) + \int_0^{+\infty} \left[ \sum_{i=1}^m r_i u_i^2 + 2s \sum_{i=1}^m b_i u_i x + \dot{s}x^2 + 2sax^2 + qx^2 \right] dt = \\ &= s(0)x_0^2 + \int_0^{+\infty} \left[ \sum_{i=1}^m r_i \left( u_i + \frac{sb_i}{r_i} x \right)^2 + \left( \dot{s} + 2as + q - \sum_{i=1}^m \frac{b_i^2}{r_i} s^2 \right) x^2 \right] dt. \quad (4.6) \end{aligned}$$

При цьому  $s(t)$  є довільно вибраною неперервно диференційовною і обмеженою на півосі  $R_+$  скалярною функцією. Доцільно вибрати цю функцію так, щоб другий доданок у підінтегральній функції (4.6) дорівнював нулю, тобто щоб виконувалася рівність:

$$\dot{s} = \left( \sum_{i=1}^m \frac{b_i^2(t)}{r_i(t)} \right) s^2 - 2a(t)s - q(t). \quad (4.7)$$

Нехай це є можливим, тобто диференціальне рівняння Ріккати (4.7) має розв'язок  $s = s_0(t)$ , обмежений на півосі  $R_+$ , який задовольняє нерівність:

$$s_0(t) \geq 0 \quad \forall t \in R_+. \quad (4.8)$$

(Питання існування обмежених розв'язків рівняння Ріккати розглянемо в п. 5.)

Підставляючи в рівність (4.6)  $s = s_0(t)$ , отримуємо:

$$I[u] = s_0(0)x_0^2 + \int_0^{+\infty} \left[ \sum_{i=1}^m r_i(t) \left( u_i(t) + \frac{s_0(t)b_i(t)}{r_i(t)} x(t) \right)^2 \right] dt. \quad (4.9)$$

Враховуючи нерівності (4.3), бачимо, що функціонал (4.9) набуває найменшого значення  $s_0(t)x_0^2$  при виконанні таких співвідношень:

$$u_i(t) = -\frac{s_0(t)b_i(t)}{r_i(t)} x(t), \quad i = \overline{1, m}. \quad (4.10)$$

Підставляючи (4.10) у рівняння (4.1), запишемо його розв'язок, що задовольняє початкову умову  $x(t_0) = x_0$ :

$$x = x_0 \exp \left\{ \int_0^t \left[ a(\sigma) - s_0(\sigma) \sum_{i=1}^m \frac{b_i^2(\sigma)}{r_i(\sigma)} \right] d\sigma \right\}.$$

Тоді відповідна оптимальна вектор-функція керування набуває вигляду:

$$\begin{aligned} u &= (u_1(t), \dots, u_m(t)) = \\ &= -s_0(t) \cdot \left( \frac{b_1(t)}{r_1(t)}, \dots, \frac{b_m(t)}{r_m(t)} \right) \cdot x_0 \exp \left\{ \int_0^t \left[ a(\sigma) - s_0(\sigma) \sum_{i=1}^m \frac{b_i^2(\sigma)}{r_i(\sigma)} \right] d\sigma \right\}. \end{aligned}$$

### 5. Обмежені розв'язки рівняння Ріккати.

Розглянемо рівняння Ріккати:

$$\dot{z} = M(t)z^2 + N(t)z + L(t), \quad (5.1)$$

де функції  $M(t), N(t), L(t)$  визначені, неперервні й обмежені на всій дійсній осі.

Поряд з рівнянням (5.1) розглянемо інше рівняння:

$$\dot{y} = -M(t) - N(t)y - L(t)y^2, \quad (5.2)$$

яке дістаємо з рівняння (5.1) за допомогою заміни змінної  $z = y^{-1}$ .

Має місце таке твердження.

*Теорема 1.* Нехай для всіх  $t \in R$  виконується нерівність

$$|N(t)| - |M(t) + L(t)| \geq \alpha, \quad (5.3)$$

де  $\alpha$  — додатна стала. Тоді рівняння (5.1) і (5.2) мають єдині розв'язки  $z = z^*(t)$ ,  $y = y^*(t)$ , для яких виконуються нерівності

$$|z^*(t)| < 1, |y^*(t)| < 1 \quad \forall t \in R. \quad (5.4)$$

*Доведення.* Розглянемо систему двох рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\frac{N(t)}{2}x_1 - M(t)x_2, \\ \dot{x}_2 = L(t)x_1 + \frac{N(t)}{2}x_2 \end{cases} \quad (5.5)$$

і звернемо увагу на те, що, якщо позначити  $z = \frac{x_2}{x_1}$ , то дістанемо рівняння (5.1). Справді, записуючи похідну, маємо:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= \frac{\dot{x}_2 x_1 - x_2 \dot{x}_1}{x_1^2} = \frac{\left( L(t)x_1 + \frac{N(t)}{2}x_2 \right) x_1 - x_2 \left( -\frac{N(t)}{2}x_1 - M(t)x_2 \right)}{x_1^2} = \\ &= L(t) + N(t) \frac{x_2}{x_1} + M(t) \frac{x_2^2}{x_1^2} = M(t)z^2 + N(t)z + L(t). \end{aligned}$$

Аналогічно переконаємось, що при позначенні  $y = \frac{x_1}{x_2}$  із системи (5.5) дістанемо рівняння (5.2).

Із нерівності (5.3) випливає, що або

$$N(t) \geq \alpha, \quad (5.6)$$

або

$$N(t) \leq -\alpha. \quad (5.7)$$

Переконаємось, що у випадку (5.6), наприклад, для кожного розв'язку

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

системи (5.5) виконується умова:

$$\frac{d}{dt}(x_1^2(t) - x_2^2(t)) \leq -\varepsilon(x_1^2(t) + x_2^2(t)), \quad \forall t \in R, \quad (5.9)$$

де  $\varepsilon = \inf_{t \in R} (N(t) - |M(t) + L(t)|) = \text{const} > 0$ .

Похідну лівої частини нерівності (5.9) запишемо в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}[x_1^2(t) - x_2^2(t)] &= 2x_1(t)\dot{x}_1(t) - 2x_2(t)\dot{x}_2(t) = 2x_1 \left[ -\frac{N}{2}x_1 - Mx_2 \right] - \\ &- 2x_2 \left[ Lx_1 + \frac{N}{2}x_2 \right] = -Nx_1^2 - 2(M+L)x_1x_2 - Nx_2^2 = \Phi(x_1, x_2). \end{aligned}$$

Тепер знайдемо найбільше значення квадратичної форми  $\Phi(x_1, x_2)$  на одиничному колі:  $x_1 = \cos \varphi$ ,  $x_2 = \sin \varphi$ .

Дістанемо:

$$\begin{aligned} \Phi(\cos \varphi, \sin \varphi) &= -N \cos^2 \varphi - 2(M+L) \cos \varphi \sin \varphi - N \sin^2 \varphi = \\ &= -N - (M+L) \sin 2\varphi \leq |M(t) + L(t)| - N(t) \leq \\ &\leq -\inf_{t \in R} (N(t) - |M(t) + L(t)|) = -\varepsilon \end{aligned}$$

Виконання нерівності  $\Phi(x_1, x_2) \leq -\varepsilon(x_1^2 + x_2^2) \quad \forall x_1, x_2 \in R$  доводить справедливість співвідношення (5.9).

Переконаємося, що будь-який ненульовий розв'язок (5.8) системи (5.5), координати якого при початковому значенні  $t = 0$  задовольняють нерівність

$$x_1^2(0) - x_2^2(0) \leq 0, \quad (5.10)$$

зростає на  $+\infty$ . Із умови (5.9) бачимо, що різниця квадратів  $x_1^2(t) - x_2^2(t)$  є спадною функцією, тому  $\forall t \in (0, +\infty)$  має місце строга нерівність:

$$x_2^2(t) - x_1^2(t) > 0. \quad (5.11)$$

Із нерівності (5.9) випливає, що  $\forall t \in (0, +\infty)$

$$\frac{d}{dt} [x_2^2(t) - x_1^2(t)] \geq \varepsilon [x_1^2(t) + x_2^2(t)] \geq \varepsilon [x_2^2(t) - x_1^2(t)].$$

Звідси з урахуванням (5.11) отримаємо:

$$\frac{d[x_2^2(t) - x_1^2(t)]}{x_2^2(t) - x_1^2(t)} \geq \varepsilon dt.$$

Інтегруючи в межах від  $t_0$  до  $t$  ( $0 < t_0 < t$ ) обидві частини цієї нерівності, дістанемо:

$$x_2^2(t) - x_1^2(t) \geq (x_2^2(t_0) - x_1^2(t_0)) \exp\{\varepsilon(t - t_0)\}, \quad (5.12)$$

що і вказує на зростання (на  $+\infty$ ) розв'язку (5.8) системи (5.5) з початковою умовою (5.10).

Тепер доведемо, що система (5.5) має й такі розв'язки (5.8), для яких виконується нерівність

$$x_1^2(t) - x_2^2(t) > 0, \quad \forall t \in (-\infty, +\infty). \quad (5.13)$$

Запишемо ліву частину нерівності (5.13) так:

$$x_1^2(t) - x_2^2(t) = x_1^2(t) \left[ 1 - \left( \frac{x_2(t)}{x_1(t)} \right)^2 \right].$$

Тепер бачимо, що нерівність (5.13) виконується тоді, коли рівняння Ріккати (5.1) має розв'язок  $z = z^*(t)$ , для якого виконується перша із оцінок (5.4). Виявляється, якщо припустити, що система (5.5) не має розв'язків (5.8), для яких виконується нерівність (5.13), то це приведе до протиріччя. Зазначимо спочатку, якщо деякий розв'язок рівняння (5.1) виходить за межі смуги  $|z| \leq 1$ , то вже не повертається до неї. Це видно із правої частини рівняння (5.1)  $M(t)z^2 + N(t)z + L(t) = f(t, z)$ , яка набуває додатних значень при  $z = 1$  і від'ємних при  $z = -1$  (припускається виконання нерівностей (5.3) і (5.6)).

Припустимо, що рівняння (5.1) не має розв'язків  $z = z^*(t)$ , для яких виконується перша із нерівностей (5.4). Це означає, що всі розв'язки рівняння (5.1) виходять за межі смуги  $|z| \leq 1$ . Позначимо точки:  $(0, -1) = A_0$ , а  $(0, 1) = B_0$ . Розглянемо розв'язок рівняння (5.1), який починається при  $t = 0$  в точці  $z = 0$ . Цей розв'язок згідно з припущенням має вийти за межі смуги  $|z| \leq 1$ . Нехай його графік перетинає пряму  $z = 1$ . Тоді позначимо початкову точку  $(0, 0) = B_1$  і розглянемо розв'язок, який починається при  $t = 0$  із середини відрізка

$[A_0, B_1]$ , тобто з точки  $\left(-\frac{1}{2}, 0\right)$ . Нехай графік цього розв'язку перетинає пряму  $z = -1$ , тоді позначимо початкову точку  $\left(-\frac{1}{2}, 0\right) = A_1$  і т. д.

Дістанемо стягну послідовність вкладених відрізків  $[A_n, B_n]$ ,  $n = 1, 2, \dots$  таких, що графіки розв'язків рівняння (5.1), які починаються при  $t = 0$  в точках  $A_n$ , перетинають пряму  $z = -1$ , а графіки розв'язків, що беруть початок в точках  $B_n$ , перетинають пряму  $z = 1$ . Тепер розглянемо розв'язок  $z = \tilde{z}(t)$  рівняння (5.1), який починається при

$t = 0$  в точці  $\tilde{A} = \bigcap_{n=1}^{+\infty} [A_n, B_n]$ .

Графік цього розв'язку згідно з припущенням має перетинати одну із прямих  $z = \pm 1$ . Нехай, наприклад, перетинає пряму  $z = -1$  при значенні  $t = T > 0$ . Тоді розглянемо на відрізку  $[0, T + 1]$  розв'язок  $z = \bar{z}(t)$  рівняння (5.1) з умовою на кінці цього відрізка:

$$\bar{z}(t) \Big|_{t=T+1} = -1.$$

Початкова точка цього розв'язку  $\bar{z}(0)$  не може лежати ні вище, ні нижче від точки  $\tilde{A}$ , оскільки розв'язки рівняння (5.1) не можуть перетинатися (виконується умова єдиності розв'язку задачі Коші). Отримане протиріччя доводить, що існують розв'язки  $z = z^*(t)$  рівняння (5.1), для яких виконується перша з оцінок (5.4).

Тепер розглянемо розв'язок (5.8) лінійної системи (5.5) з початковою умовою:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \Big|_{t=0} = \begin{bmatrix} 1 \\ z^*(0) \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

і покажемо, що цей розв'язок  $x = x^+(t) = \begin{bmatrix} x_1^+(t) \\ x_2^+(t) \end{bmatrix}$  прямує до нуля при  $t \rightarrow +\infty$ . Це одразу свідчитиме про те, що розв'язок  $z = z^*(t)$ , який задовольняє першу з нерівностей (5.4), буде єдиний, оскільки інакше це б означало, що існують два лінійно незалежних розв'язки лінійної системи (5.5), які прямують до нуля на  $+\infty$ , а значить, і всі розв'язки прямують до нуля, що суперечить оцінці (5.12).

Розглянемо квадратичну форму з додатним параметром  $\delta$ :

$$V_\delta(x) = x_1^2 - x_2^2 + \delta(x_1^2 + x_2^2). \quad (5.15)$$

Запишемо й оцінимо її похідну в силу системи (5.5). Отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} V_\delta(x(t)) &= \frac{d}{dt} (x_1^2(t) - x_2^2(t)) + \delta \frac{d}{dt} (x_1^2(t) + x_2^2(t)) \leq -\varepsilon (x_1^2 + x_2^2) + \\ &+ \delta \left( 2x_1 \left( -\frac{N(t)}{2} x_1 - M(t) x_2 \right) + 2x_2 \left( L(t) x_1 + \frac{N(t)}{2} x_2 \right) \right) \leq \\ &\leq -\left( \varepsilon - \delta(|N| + |M - L|) \right) (x_1^2 + x_2^2) \leq -\bar{\varepsilon} (x_1^2 + x_2^2). \end{aligned} \quad (5.16)$$

Оскільки функції  $M(t), N(t), L(t)$  обмежені на  $R$ , то завжди знайдеться таке значення  $\delta > 0$ , що в нерівності (5.16)  $\bar{\varepsilon} > 0$ . Оскільки для

розв'язку  $x = x^+(t) = \begin{bmatrix} x_1^+(t) \\ x_2^+(t) \end{bmatrix}$  виконується нерівність (5.11), то також

буде виконуватись і така нерівність:

$$V_{\delta}(x^+(t)) > 0 \quad \forall t \in R, \delta = \text{const} > 0. \quad (5.17)$$

З іншого боку, для будь-яких  $x_1, x_2$  виконується нерівність:

$$x_1^2 + x_2^2 \geq \frac{1}{1+\delta} V_{\delta}(x). \quad (5.18)$$

Із оцінки (5.16) з урахуванням нерівності (5.18) отримуємо:

$$\frac{d}{dt} V_{\delta}(x^+(t)) \leq -\frac{\bar{\varepsilon}}{1+\delta} \cdot V_{\delta}(x^+(t)). \quad (5.19)$$

Ураховуючи нерівність (5.17), поділимо обидві частини (5.19) на додатну функцію  $V_{\delta}(x^+(t))$  і проінтегруємо в межах від  $\tau$  до  $t$  ( $\tau \leq t$ ). Отримаємо:

$$V_{\delta}(x^+(t)) \leq V_{\delta}(x^+(\tau)) \cdot \exp\{-\tilde{\varepsilon}(t-\tau)\}, \quad \tilde{\varepsilon} = \frac{\bar{\varepsilon}}{1+\delta} = \text{const} > 0.$$

Із останньої нерівності з урахуванням (5.15) дістанемо:

$$\begin{aligned} \left[ (x_1^+(t))^2 + (x_2^+(t))^2 \right] &= \frac{V_{\delta}(x^+(t)) - V_0(x^+(t))}{\delta} \leq \\ &\leq \frac{V_{\delta}(x^+(t))}{\delta} \leq \frac{1}{\delta} V_{\delta}(x^+(\tau)) \cdot \exp\{-\tilde{\varepsilon}(t-\tau)\} \leq \\ &\leq \frac{1+\delta}{\delta} \cdot \left[ (x_1^+(\tau))^2 + (x_2^+(\tau))^2 \right] \exp\{-\tilde{\varepsilon}(t-\tau)\} \quad \forall t, \tau \in R, \tau \leq t. \end{aligned}$$

Це означає, що розв'язки  $x = x^+(t)$  системи (5.5) з початковою умовою (5.14) прямують до нуля при  $t \rightarrow +\infty$ .

Аналогічно доводиться, що рівняння (5.2) має єдиний розв'язок  $y = y^+(t)$ , для якого виконується друга з нерівностей (5.4).

**Висновки.** У заданій постановці задачі визначено умови, за яких функціонал мінімізується, знайдено відповідні оптимізаційні керування, наведено ілюстративний приклад. Запропоновано метод знаходження оптимальних розв'язків і відповідного керування в нестационарному випадку. Тобто, коли коефіцієнти у правій частині рівняння залежать від часу.



Пропоновану математичну модель і метод її дослідження можна включити до змісту дисциплін на теми математичного моделювання, теорії керування для магістрів математичних спеціальностей університетів.

Зазначимо також, що при розв'язуванні подібних задач доводиться мати справу з рівнянням Ріккати. Знаходження його розв'язків — завдання складне саме по собі, розв'язати яке вдається далеко не завжди. Тому перспективними є пошуки в напрямі знаходження та дослідження розв'язків цього класу рівнянь. Зокрема, у межах статті вивчено питання існування обмежених розв'язків рівняння Ріккати.

#### ДЖЕРЕЛА

1. Астаф'єва М.М. Задача мінімізації функціонала в теорії керування. *Фізико-математична освіта: наук. журнал*. 2017. Вип. 4 (14). С. 143–148.
2. Митропольський Ю.А., Самойленко А.М., Кулик В.Л. Исследование дихотомии линейных систем дифференциальных уравнений с помощью функций Ляпунова. К.: Наук. думка, 1990. 270 с.
3. Миненко А.С. О минимизации одного интегрального функционала методом Ритца. *Український мат. журн.* 2006. Т. 58, № 10. С. 1385–1394.
4. Моклячук М.П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі. К.: ТВіМС, 2004. 384 с.
5. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкредидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука, 1983. 393 с.
6. Самойленко А.М. Элементы математической теории многочастотных колебаний. Москва: Наука, 1987. 302 с.
7. Tadeusz Kaczorek. Teoria sterowania i systemów. Warszawa: PWN, 1999. 801 с.
8. Zdzisław Wyderka. Teoria sterowania optymalnego: (skrypt przeznaczony dla studentów IV i V roku matematyki, nr. 397). Katowice: Uniwersytet Śląski, 1987.

## 2.2. МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ДОСЛІДЖЕННІ ДИНАМІКИ ЗМІНИ СТРУКТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ МАКРО- ТА МІКРОЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Людмила Ільїч, Оксана Глушак, Світлана Семеняка**  
(Київський університет імені Бориса Грінченка)

У системі соціально-економічних досліджень значна увага приділяється розгляду регіональних розбіжностей за основними макроекономічними показниками та чутливістю їх до впливу екзогенних й ендогенних факторів. Такий підхід до вивчення ринків мезорівня насамперед пов'язаний з тим, що економіки регіонів прямо впливають на конкурентоспроможність національної економіки, а остання своєю чергою може позначатися на розвитку певних галузей конкретних регіонів, що неминуче вплине на зайнятість населення. Серед вітчизняних науковців, які присвятили свої дослідження взаємозв'язку структурних зрушень економік макрота мезорівнів і зайнятості населення варто відзначити А. Балашова (вивчення проблем оцінювання регіональних диспропорцій суспільного розвитку) [1]; Н. Білу (оцінювання адекватності основних напрямів структурної трансформації економіки України стратегічним цілям соціально-економічного розвитку та визначення вектора модернізації інституційної бази) [2]; Т. Бурбелу (оцінювання впливу структурних зрушень в економіці на ефективність виробництва) [3]; Л. Ільїч (моделювання освітньо-кваліфікаційних дисбалансів між попитом та пропозицією праці) [4]; О. Клімову (вивчення проблем формування і розвитку економічних систем у взаємозв'язку зі структурними змінами національної економіки) [5]; А. Крамаренко (аналіз структурних зрушень у світовому господарстві та зайнятості населення внаслідок еволюції технологічних укладів) [6]; М. Козубова (оцінювання і оптимізація структурних зрушень в економіці України) [7]; Ю. Маршавіна (моделювання взаємозв'язку зайнятості населення та найбільш значущих чинників попиту) [8];

В. Реутова (визначення регіональних диспропорцій за структурними зрушеннями в економіці) [9]; О. Чмира (комплексне оцінювання структурних зрушень в економіці) [10] та ін.

Серед праць зарубіжних вчених, які присвячені дослідженню взаємозв'язку між регіональним соціально-економічним розвитком та зайнятістю населення варто відзначити роботи Claster S.D., 1989 [11]; Andrikopoulos A., Brox J., Carvalho E., 1990 [12]; Knudsen D.C., Barff R., 1991 [13]; Grimes P.W., Ray M.A., 1988 [14]; Loveridge S., Selting A.C., 1998 [15]; Karpiński A., Paradysz S., Ziemieck J., 1999 [16]; Knudsen D.C., 2000 [17]; Wadley D., Smith P., 2003 [18]; Gordon F., Mulligan G.F., 2004 [19]; Batóg B., Batóg J., 2007 [20]; Brox J.A., Carvalho E., 2008 [21]; Chiang S., 2012 [22].

Ринок праці за своєю природою є факторним ринком, від співвідношення та еволюції базових елементів якого залежать характер і специфіка як економічних, так і соціальних процесів. Виступаючи найбільш специфічною підсистемою економіки і водночас її рушійною силою, ринок праці визначає перспективи забезпечення сталого економічного та інноваційного розвитку, що насамперед пов'язані з якісними характеристиками робочої сили та гідними умовами прикладання праці. Тим актуальнішим постає питання оцінки динаміки рівня зайнятості та визначальних факторів з метою дальшого на них впливу та зростання темпів росту рівня зайнятості.

Як основні фактори впливу було визначено показники, що належать до таких груп внутрішніх (ендогенних) чинників, як макроекономічна група (індекс капітальних інвестицій; коефіцієнт покриття експорту імпортом), демографічна група (рівень освіти працівників; також до цієї групи належить чисельність зайнятого населення, що в дослідженні виступає показником результативної змінної) та фінансово-економічна група (рівень середньої заробітної плати, приріст продуктивності праці).

Метою статті є розробка методології економіко-математичного моделювання структурних зрушень у зайнятості населення України (регіону) залежно від впливу частки високоосвіченої робочої сили; динаміки продуктивності праці; середньої заробітної плати; капітальних інвестицій; експорту та імпорту товарів і послуг.

Дослідження ґрунтується на використанні економіко-математичних наукових методів із застосуванням прикладних пакетів

Excel та Mathcad, зокрема методів кореляційного аналізу, математичного моделювання, табличного та графічного методів аналізу. Моделювання здійснене у кілька етапів: 1) формування бази даних та встановлення виду або типу математичної моделі; 2) ідентифікація змінних; 3) дослідження форм зв'язку між факторними ознаками та результативною змінною; 4) параметризація даних; 5) складання рівняння регресії; 6) економічна інтерпретація результатів, зокрема розрахунок коефіцієнтів еластичності; 7) перевірка моделі на адекватність (розрахунок похибок апроксимації, коефіцієнтів кореляції та детермінації); 8) перевірка моделі на статистичну значущість (критерій Фішера та критерій Стьюдента); 9) прогнозування: обчислення довірчих інтервалів.

Для виявлення чутливості зайнятості населення країни (регіону) до змін в економічній системі скористаємося методом математичного моделювання, який широко застосовується в прикладних економічних дослідженнях. Зрозуміло, що існує множина чинників, які визначають різноспрямовані вектори структурних змін у зайнятості, однак слід пам'ятати, що економіко-математична модель має відповідати поставленим цілям дослідження, відображати стійкі взаємозв'язки між змінним, нести практичну користь, бути адекватною і простою у використанні. Економіко-математична модель, яка здатна задовольнити всі вище перелічені умови, зможе не тільки об'єктивно оцінити залежність зайнятості від структурних змін у факторних ознаках, а й спрогнозувати можливі зрушення, що створить передумови для розроблення надійної інформаційної бази для підтримки ухвалення управлінських рішень щодо визначення пріоритетів соціально-економічного розвитку країни (регіону) та розробки відповідних стратегій.

Ціллю побудови економіко-математичної моделі є встановлення та дослідження залежності рівня зайнятості населення України (регіону) від впливу таких факторів: частки штатних працівників з вищою освітою у відсотках до облікової чисельності; темпу зростання продуктивності праці; темпу зростання середньої заробітної плати; індексу капітальних інвестицій; коефіцієнта покриття експортом імпорту.

Для досягнення мети дослідження були поставлені такі завдання:

- 1) дослідити взаємозв'язки між вибраними факторами на рівні країни та регіону;
- 2) визначити їх вплив на зайнятість населення країни та регіону;
- 3) провести порівняльний аналіз отриманих результатів.

Вибір факторів здійснено виходячи з передумов можливого взаємозв'язку між ними та доступності статистичної інформації в обсязі, достатньому для виконання математичного моделювання. Для математичного обчислення можливих взаємозв'язків між зайнятістю та вище названими факторами скористаємося статистичними даними Державної служби статистики України за період 2000–2016 рр.

Об'єктом дослідження було взято промислові регіони з домінуванням матеріалоємних та енергоємних виробництв із низькою доданою вартістю й екстенсивним використанням трудових ресурсів (Дніпропетровська область); регіони, основу виробничого потенціалу яких складають підприємства високотехнологічних галузей: енергомашинобудування, електротехнічної промисловості, приладобудування, радіоелектроніки, авіакосмічної промисловості (Харківська область); регіони, в структурі економіки яких переважають будівництво, операції з нерухомістю та фінансові послуги (Київська область); регіони з домінуванням агропромислового комплексу та харчової промисловості (Вінницька область). Різноманітність зазначеної вибірки, що охоплює основні напрями економічного розвитку країни, дасть можливість комплексно підійти до задачі аналізу динаміки зайнятості населення на регіональному та національному рівні.

Початковим етапом для побудови економетричної моделі є ідентифікація змінних. За результатами ідентифікації отримуємо:  $Y$  — рівень зайнятості населення у відповідному регіоні;  $X_1$  — частка штатних працівників з вищою освітою;  $X_2$  — темп зростання продуктивності праці;  $X_3$  — темп зростання середньої заробітної плати;  $X_4$  — індекс капітальних інвестицій;  $X_5$  — коефіцієнт покриття експортом імпорту.

Наступні діаграми показують динаміку змін відповідних вибраних факторів для кожного регіону та по Україні за період 2000–2016 рр. (рис. 2.2.1–2.2.5).



Рис. 2.2.1. Динаміка росту відсоткової частки штатних працівників з вищою освітою за період 2000–2016 рр.



Рис. 2.2.2. Динаміка темпу зростання продуктивності праці за період 2000–2016 рр.

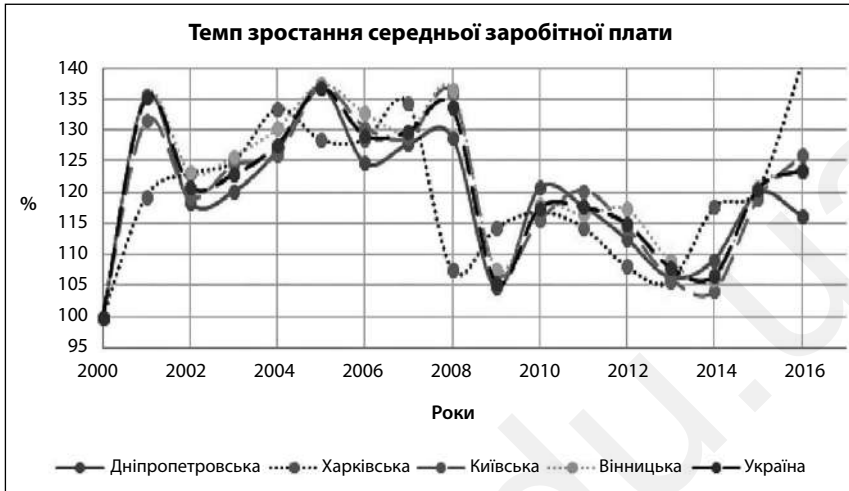


Рис. 2.2.3. Динаміка темпу зростання середньої заробітної плати за період 2000–2016 рр.

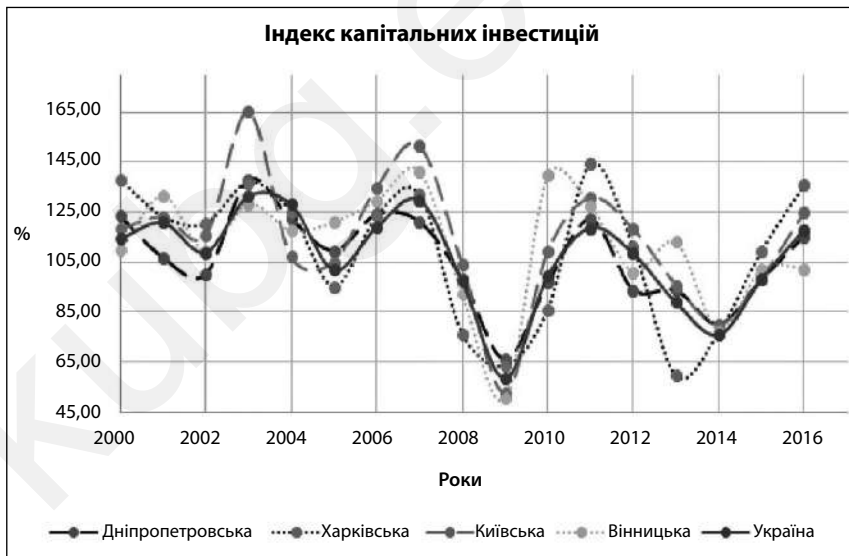


Рис. 2.2.4. Динаміка росту індексу капітальних інвестицій за період 2000–2016 рр.



Рис. 2.2.5. Динаміка росту коефіцієнта покриття експортом імпорту за період 2000–2016 рр.

Специфікація моделі є другим етапом побудови. Вона передбачає встановлення форми взаємозв'язку між результативною та факторними змінними. Будемо здійснювати побудову кореляційного поля залежності рівня зайнятості населення від кожного з факторів за допомогою точкової діаграми у MS Excel.

Для визначення оптимального типу взаємозв'язку скористаємося лінією тренду. За допомогою діалогового вікна формату лінії тренду визначаємо для кожної з діаграм, що відображає відповідну залежність, коефіцієнт детермінації. Порівнюючи коефіцієнти детермінації  $R^2$  для кожного типу залежностей, вибираємо найбільш оптимальні, тобто такі, для яких величина  $R^2$  набуває максимального значення з можливих. На основі проведеного вище дослідження було встановлено існування лінійного зв'язку між відповідними факторами економетричної моделі:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + u. \quad (1)$$

Наступним етапом побудови моделі є етап параметризації: знаходження оцінок параметрів  $\hat{a}_i$  ( $i = 0, 5$ ) та побудова відповідного регресійного рівняння. Цей етап можна реалізувати в MS Excel кількома способами. Один із них є суто математичним і полягає у визна-



чені оцінок параметрів за допомогою методу найменших квадратів та використання формули:

$$\hat{A} = (X^T X)^{-1} \cdot X^T Y, \quad (2)$$

де  $\hat{A}$  — вектор-стовпець оцінок коефіцієнтів рівняння;  $X^T$  — транспонована матриця до матриці  $X$ ;  $(X^T X)^{-1}$  — обернена матриця до добутку двох матриць  $X^T X$ .

У результаті проведених розрахунків були отримані економіко-математичні моделі.

Для Дніпропетровського регіону:

$$\hat{Y} = 52,74 + 0,2X_1 + 0,02X_2 - 0,02X_3 - 0,003X_4 + 0,005X_5. \quad (3)$$

Для Харківського регіону:

$$\hat{Y} = 52,19 + 0,13X_1 + 0,014X_2 + 0,002X_3 - 0,006X_4 + 0,005X_5. \quad (4)$$

Для Вінницького регіону:

$$\hat{Y} = 59,31 - 0,25X_1 - 0,03X_2 + 0,04X_3 + 0,04X_4 + 0,006X_5. \quad (5)$$

Для Київського регіону:

$$\hat{Y} = 53,015 + 0,069X_1 + 0,029X_2 - 0,008X_3 + 0,006X_4 + 0,001X_5. \quad (6)$$

Побудовані моделі є адекватними, про що свідчать середні значення відносних похибок розрахункових значень регресії, які лежать у межах 10 %. Для Дніпропетровської області відносна похибка набуває значення  $\bar{A} = 1,05$  %, для Харківської —  $\bar{A} = 1,5$  %, для Вінницької —  $\bar{A} = 5,5$  %, для Київського регіону —  $\bar{A} = 1,7$  %.

Ще один із критеріїв адекватності моделі пов'язаний зі значенням коефіцієнта кореляції  $R$  та коефіцієнта детермінації  $R^2$ . Чим ближче  $R$  та  $R^2$  до одиниці, тим суттєвішим є лінійний зв'язок між змінними, тобто зміна результативної змінної значною мірою пояснюється зміною факторної змінної і лише незначна частина змін — іншими факторами.

Для Дніпропетровської області коефіцієнт кореляції набуває значення  $R = 0,98$ , для Харківської —  $R = 0,79$ , для Вінницької —  $R = 0,84$ , для Київської —  $R = 0,63$ .

Ймовірно, що відмінність між коефіцієнтами кореляції зумовлена тим, що при оцінці впливів на рівень зайнятості, зокрема в Харківській та Київській областях, не був урахований фактор, який чинить суттєвий вплив на динаміку росту результативної змінної саме в цих регіонах. Звідси можемо дійти висновку про те, що, незважаючи на деяку подібність економічного розвитку цих регіонів, відповідні моделі є суто локальними і вимагають індивідуального добору впливових факторів для аналізу рівня зайнятості.

Не менш важливими для аналізу та інтерпретації результатів є коефіцієнти еластичності  $E_i$  та загальна еластичність  $E$ . Коефіцієнти еластичності  $E_i$  обчислюються для кожної факторної змінної  $X_i$ :  $E_i = \hat{a}_i \cdot \frac{\bar{X}_i}{\bar{Y}}$ , ( $i = \overline{1,5}$ ) та показують, наскільки відсотків зміниться  $Y$  (збільшиться при  $E_i > 0$  і зменшиться при  $E_i < 0$ ), якщо відповідна величина  $X_i$  зросте на 1 %. Загальна еластичність  $E \left( E = \sum_{i=1}^5 E_i \right)$  показує наскільки відсотків зміниться результат  $Y$ , якщо водночас збільшити на 1 % всі фактори  $X_i$ .

Відповідні значення коефіцієнтів еластичностей факторних змінних досліджуваних регіонів відображені в *табл. 2.2.1*.

Таблиця 2.2.1

КОЕФІЦІЄНТИ ЕЛАСТИЧНОСТІ  
ДЛЯ РЕГІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

Дніпропетровська область		Харківська область	
E1	0,092020158	E1	0,087141233
E2	0,049380033	E2	0,028421467
E3	-0,030796305	E3	0,012723109
E4	-0,006098188	E4	-0,011623465
E5	0,015025198	E5	0,006345181
E	0,119530896	E	0,123007525

## Продовження табл. 2.2.1

Вінницька область		Київська область	
E1	-0,115593638	E1	0,0382687
E2	-0,074040428	E2	0,07947792
E3	0,079986009	E3	-0,000259188
E4	0,073019974	E4	-0,002224995
E5	0,017122241	E5	-0,014434259
E	-0,019505843	E	0,100828177

Аналізуючи побудовані моделі (3) — (6) за сукупністю знайдених оцінок параметрів, слід зазначити, що визначальними факторами, які впливають на динаміку росту рівня зайнятості, для промислових регіонів Дніпропетровської та Харківської областей є такі, що відображають частку штатних працівників з вищою освітою та темп зростання продуктивності праці. Позитивною динамікою визначається також фактор, який характеризує коефіцієнт покриття експортом імпорту. Отримані висновки за цими регіонам перекликаються з результатами для Київської області, хоча, зважаючи на величину коефіцієнтів, динаміка росту частки працівників з вищою освітою в Київському регіоні не несе настільки істотного впливу на підвищення рівня зайнятості населення, як у регіонах Дніпропетровської та Харківської областей.

Зовсім інша картина складається для Вінницького регіону, в якому суттєвий вплив на позитивну динаміку зайнятості населення чинять такі фактори, як темп зростання середньої заробітної плати та індекс капітальних інвестицій, а фактор наявності вищої освіти не сприяє інтенсивному підвищенню рівня зайнятості.

Цікавим є порівняння побудованих регіональних моделей з математичною моделлю множинної регресії, побудованої для проведення аналізу структурних зрушень у сфері зайнятості населення України, яка була використана в роботі О.М. Глушак та С.О. Семеняки [23]:

$$\hat{Y} = 45,723 + 0,506X_1 - 0,00002X_2 - 0,002X_3 - 0,016X_4 + 0,886X_5. \quad (7)$$

Як бачимо, специфіка економічного розвитку областей та динаміка впливу визначальних факторів за деякими показниками, що простежується в рівняннях (3) — (6), «зглажується» в загальноукраїнській моделі (7). Це свідчить про локальність (регіональність) практичного використання відповідних економетричних моделей для дослідження структурних зрушень у сфері зайнятості, особливо при прогнозуванні.

Побудовані моделі є адекватними та статистично значущими, отже, придатними для проведення точкових та інтервальних прогнозів. Порівнюючи результати дослідження рівня зайнятості по Україні з регіональними по Дніпропетровській, Харківській, Київській, Вінницькій областях, можемо дійти таких висновків: визначальними факторами, які впливають на ріст зайнятості в цілому по країні є рівень освіти та зростання інвестицій. Водночас для Дніпропетровської області вплив інвестицій не відображається позитивно на сфері зайнятості, що пов'язано насамперед з посиленням технічного оснащення виробництва регіону і вимивання робочої сили. Зростання коефіцієнта покриття експортом імпорту та темпів продуктивності праці дає позитивні зрушення.

Висновки. Інформація про стан зайнятості населення є основою для створення та втілення ефективної стратегії соціально-економічного розвитку окремого регіону та держави в цілому. У зв'язку з цим істотного значення набуває оцінювання та аналіз зайнятості населення, що вимагає дальшого застосування статистичних методів дослідження для визначення стану та закономірностей розвитку зайнятості населення в регіональному й макроекономічному аспектах.

У роботі на основі здійсненого аналізу ринку праці встановлено якісні взаємозв'язки структурних зрушень економік макро- та мезорівнів і зайнятості населення, проведено відбір основних факторів впливу на динаміку зайнятості. Побудовано економетричну модель множинної регресії для дослідження залежності рівня зайнятості населення Дніпропетровського, Харківського, Київського та Вінницького регіонів від наявності вищої освіти у зайнятого населення, темпів зростання продуктивності праці та середньої заробітної плати, індексу капітальних інвестицій, величини коефіцієнта покриття експортом імпорту. Здійснено дисперсійно-кореляційний аналіз побудованих моделей, зокрема, оцінено загальний вплив

факторних змінних на результативну змінну та статистичну значущість знайдених оцінок. Подано економічну інтерпретацію отриманих результатів та проведено порівняльну характеристику динаміки зайнятості населення на регіональному рівні й в Україні загалом.

### ДЖЕРЕЛА

1. Балашов А.М. Проблеми та напрями вдосконалення оцінки регіональних диспропорцій суспільного розвитку. *Держава та регіони*. 2010. № 1. С. 147–151.
2. Біла Н.Г. Економічна криза та структурні зрушення в економіці. *Держава та регіони*. 2009. № 5. С. 21–26.
3. Бурбела Т.М. Аналіз структурних зрушень в економіці та їхній вплив на ефективність виробництва. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2011. № 3. С. 62–67.
4. Ільч Л.М. Структурні трансформації транзитивного ринку праці України. К.: Алерта, 2017. 608 с.
5. Клімова О. І. Формування і розвиток економічних систем унаслідок структурних змін в економіці України. *Актуальні проблеми економіки*. 2010. № 5. С. 111–117.
6. Крамаренко А.О. Структурні зрушення у світовому господарстві в процесі еволюції технологічних укладів. *Інвестиції: практика та досвід*. 2011. № 4. С. 47–51.
7. Кузубов М.В., Овандер Н.Л. Оцінка структурних зрушень в економіці України та їх оптимізація. *Актуальні проблеми економіки*. 2010. № 9. С. 66–75.
8. Маршавін Ю.М. Економічні та інституційні засади регулювання ринку праці України: дис. ... д-ра екон. наук: спец. 08.00.07 — демографія, економіка праці, соціальна економіка і політика. К., 2013. 473 с.
9. Реутов В.Є. Регіональний вимір структурних зрушень в економіці України. *Держава та регіони*. 2010. № 2. С. 172–179.
10. Чмир О.С., Михайленко О.Ф., Захарін С.В. Комплексне оцінювання структурних зрушень в економіці. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2011. № 9. С. 3–7.
11. Claster S. D. A theoretical context for shift and share analysis. *Regional Studies*. 1989. Vol. 23. P. 43–48.
12. Andrikopoulos A., Brox J., Carvalho E. Shift-Share analysis and the potential for predicting regional growth patterns: some evidence for the region of Quebec, Canada. *Growth and change*. 1990. Vol. 21 (1). P. 1–10.

13. Knudsen D. C., Barff R. Shift-share analysis as a linear model, *Environment and Planning*. 1991. Vol. 23. P. 421–431.

14. Grimes P. W., Ray M. A. Right-to-Work Legislation and Employment Growth in the 1980s: A Shift-Share Analysis. *Regional Science Perspectives*. 1988. Vol. 18 (2). P. 78–93.

15. Loveridge S., Selting A. C. A review and comparison of shift-share identities. *International Regional Science Review*. 1998. Vol. 21 (1). P. 27–58.

16. Karpinski A., Paradysz S., Ziemiecki J. *Zmiany Struktury Gospodarki w Polsce do Roku 2010. Polska na tle Unii Europejskiej. Komitet Prognoz "Polska w XXI wieku," PAN, Elipsa, Warszawa, 1999.*

17. Knudsen D.C. Shift-share analysis: further examination of models for the description of economic change. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2000. Vol. 34. P. 177–198.

18. Wadley D., Smith P. Straightening up shift-share analysis. *The annals of regional science*. 2003. Vol. 3. P. 259–261.

19. Gordon F., Mulligan A. M. Estimating population change with a two-category shift-share model. *The Annals of Regional Science*. 2004. Vol. 38. P. 113–130.

20. Batog B., Batog J. Shift-Share Analysis of Employment Growth within the EU Countries in 1999–2005. *Competitiveness of Labour Market. Economics and Competition Policy*. 2007. Vol. 8. P. 45–54. Available at: [http://mikroekonomia.net/system/publication\\_files/426/original/3.pdf?1314966704](http://mikroekonomia.net/system/publication_files/426/original/3.pdf?1314966704) [Accessed: 2.01.2020].

21. Brox J. A., Carvalho E. A Demographically Augmented Shift-Share Employment Analysis: An Application to Canadian Employment Patterns. *Regional Analysis and Policy*. 2008. Vol. 38(1). P. 56–66.

22. Chiang S. Shift-share analysis and international trade. *Annals of Regional Science*. 2012. Vol. 49. P. 571–588.

23. Глушак О.М., Семеняка С. О. Економіко-математичне моделювання: методика розроблена на синтезі ІКТ і методів моделювання. *Освітологічний дискурс: електронне наукове фахове видання*. К., 2019. С. 156–174.

## 2.3. ЗАСОБИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

**Олександр Бушма**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

Розвиток промислових та побутових технічних засобів характеризується активним впровадженням цифрової техніки для отримання, обробки, зберігання та виводу інформації. При цьому електронна апаратура зазвичай дуже чутлива до завад та сигналів, які генеруються в навколишньому середовищі. Одним із основних джерел таких постійно діючих зовнішніх впливів є аналогічні цифрові пристрої, які працюють поруч. Тому забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) електронної техніки в усіх сферах її застосування є вкрай актуальне. На практиці ЕМС — це здатність радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв одночасно функціонувати із зумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу ненавмисних радіозавад і не створювати неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам [1]. Одним із найефективніших підходів при конструюванні електронних пристроїв з високим рівнем ЕМС є визначення найбільш активних випромінювачів радіозавад та їх придушення в самому джерелі [2]. У сучасних цифрових системах суттєвим джерелом радіозавад слід визнати засоби візуального виводу інформації, оскільки вони мають досить великі геометричні розміри та споживають значну частину електричної енергії, що витрачається пристроєм. Однак цьому напрямку в конструюванні підсистеми візуалізації інформації не приділялося необхідної уваги.

Метою статті є визначення принципів зниження генерованих радіозавад засобами індикації з високим рівнем надійності передачі даних оператору та їх практична реалізація у вбудованих системах на основі мікроконтролерів.

Стрімкий розвиток напівпровідникових технологій та комп'ютерної техніки суттєво розширив практичні можливості засобів ві-

зуального виводу інформації. Функціонально — це вузли апаратури або самостійні технічні пристрої, до складу яких входять індикаторні елементи (ІЕ) із засобами керування для введення, зберігання та перетворення інформації. Практично увесь комплекс технічних та ергономічних параметрів таких вузлів визначає інформаційна модель (ІМ), що формує правила, згідно з якими кодуються візуальні повідомлення [3–5]. Застосування цифрових технологій у візуальному каналі зв'язку технічних засобів з людиною стало одним із найефективніших методів підвищення загальної надійності ергатичних систем. Високий рівень достовірності та надійності передачі даних оператору забезпечують пристрої візуального виводу інформації на основі дискретно-аналогових шкальних індикаторів (ІШ) [6]. Це визначило їх широке використання у промислових та мобільних застосуваннях.

Одночасно виникає питання визначення ІМ, що є правилом, згідно з яким кодуються візуальні повідомлення [7].

Аналоговий спосіб подання інформації на шкалі базується на зіставленні певної величини з просторовим розташуванням відповідного мірного показчика. Цей спосіб хоч і поступається цифровому в точності та дискретності відліку, але має порівняно з ним цілу низку переваг, зокрема, дає можливість просто та зрозуміло сформувати необхідну величину у вигляді відповідного зорового образу, оперативнo стежити за її зміною і водночас порівнювати декілька величин між собою [8–10]. Реалізація цього підходу покладається на ІМ.

ІМ є основою візуального образу, який формується на інформаційному полі (ІП) індикатора. Одночасно ІМ є джерелом повідомлень, на основі яких оператор формує образ реальної системи та аналізує її роботу, планує діяльність і приймає рішення. У сучасних системах найкращі результати досягаються завдяки використанню дискретно-аналогових шкальних ІМ. У серійній радіоелектронній апаратурі, в системах керування й апаратурі рухомих об'єктів найчастіше реалізуються дві форми такої ІМ — позиційна та адитивна. У першому випадку дані подаються положенням оптичної неоднорідності на ІП, а в другому — як геометричною довжиною оптичної неоднорідності, так і положенням її відлікового кінця. У разі ІШ на основі активних (світловипромінювальних) елементів — це відповідно мітка та лінія, які світяться на мірній шкалі. Практично позиційна ІМ технічно простіша в реалізації та споживає суттєво менше енер-



гії на формування візуального сигналу, але має гірші ергономічні властивості. Адитивна ІМ характеризується збудженням відповідної множини елементів ІП й, як наслідок, вищими витратами енергії на синтез зображення на індикаторі. Однак її надійнісні та ергономічні характеристики є суттєво вищими за рахунок інформаційної надлишковості візуального повідомлення [11–13].

Серед різних типів ІЕ, які використовуються ІП для відповідальних застосувань, світловипромінювальні діоди (СД) займають особливе місце, оскільки мають унікальний комплекс техніко-економічних і ергономічних характеристик. Висока економічність, надійність, високий рівень світлотехнічних характеристик, простота поєднання з апаратурою на основі цифрових інтегральних схем зробили їх незамінними елементами оптоелектронних засобів візуалізації [14–17]. Однією з особливостей побудови ІП на СД є використання модулів, з яких безшовним стикуванням шляхом нарощування формується шкала, що містить необхідну кількість елементів ІП [18]. Керуючим сигналом для напівпровідникових випромінювачів є електричний струм. Його значення для більшості ІЕ лежить у діапазоні 3...50 мА на один СД. При цьому напруга становить 1,2...3,5 В, що забезпечує просту технічну реалізацію підключення шкали (без застосування складних схем керування (СК)) до апаратури на основі інтегральних мікросхем. Аналіз свідчить, що модулі шкали різних виробників розраховані на роботу в різних режимах збудження — статичному, імпульсному з низькою та високою шпаруватістю, а також при різному рівні струму. Багато західних фірм випускає широку номенклатуру модулів. Найбільшого поширення набули модулі з 1, 2, 4 та 10 СД, які можуть бути об'єднані в шкалу з необхідним числом відлікових індексів шляхом безшовного стикування, а також монолітні шкали зі 101 СД [14; 16–18]. У результаті для більшості типових застосувань СК має забезпечити середній рівень струму збудження шкали на рівні 0,5...2 А, який є суттєвим джерелом електромагнітних завад. Однак рівень цих небажаних сигналів визначається алгоритмом синтезу зображення на шкалі.

Керування ІП реалізується зазвичай двома способами — статичним або динамічним. На практиці перший з них використовується, якщо кількість ІЕ менша 30. У разі необхідності побудови ІП більшої дискретності такий принцип не забезпечує потрібний

рівень надійності, тому що базується на формуванні окремих незалежних сигналів керування кожним із випромінювальних елементів, що вимагає відповідного збільшення числа каналів їх збудження з необхідними цифровими компонентами. Статична індикація функціонально простіша, оскільки не потребує додаткової обробки даних, властивій динамічному режиму. У статичному варіанті окремому елементу ІП відповідає окремий електронний ключ і дані, що виводяться, змінюються лише при новому символі. Тому в таких технічних рішеннях рівень генерованих радіозавад є мінімальним.

При збільшенні дискретності шкали (понад 30 елементів) для скорочення числа ліній керування ІП використовується матричне з'єднання випромінювачів. Для цього елементи об'єднуються в групи з одним загальним електродом та формують множину ліній керування  $\{n\}$ , а інший електрод підключається до елементів з тотожними номерами в групах, що забезпечує формування ще  $\{m\}$  ліній керування матрицею  $m \times n$  елементів ІП. Така будова шкали істотно підвищує надійність засобів індикації в цілому завдяки зменшенню необхідної кількості сигналів керування випромінювачами. Однак у цьому разі втрачається можливість довільного одночасного збудження елементів шкали і необхідно застосувати динамічне формування візуального повідомлення на індикаторі. У результаті для збереження потрібного рівня яскравості ІП слід підтримувати середній струм імпульсного режиму збудження випромінювачів на рівні струму статичного режиму. Тому в динамічному режимі суттєво зростають амплітудні значення струму збудження елементів і, відповідно, рівень радіозавад, які генеруються індикатором.

Для оцінки рівня завад більш універсальним є підхід, що використовує енергетичні критерії. У цьому разі для ефективної тривалості й ефективної ширини спектра розглядаються відповідно інтервал часу та діапазон частот, у межах яких зосереджена переважна частина енергії сигналу [19]. Дискретне формування зображення на ІП реалізується збудженням ІЕ періодичною послідовністю прямокутних імпульсів, для яких характерним є спектр гармонік з огинаючою виду [20]:

$$Z(\omega) = A \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega T/2}, \quad (1)$$

де  $A$  — амплітуда імпульсного сигналу (в нашому випадку — значення струму збудження випромінювачів);  $\tau$  — тривалість імпульсів;  $T$  — період повторення імпульсів;  $\omega_n$  —  $n$ -я гармоніка спектра, причому

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} \cdot n, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Аналіз (1) свідчить про те, що підвищення рівня ЕМС індикатора можна досягти двома шляхами: зменшенням амплітуди струму збудження випромінювачів та звуженням спектра генерованих СК паразитних радіосигналів.

Розглянемо принципи формування візуальних повідомлень на ІП індикатора с точки зору шляхів зниження рівня створюваних радіозавад при штатному режимі роботи. Надійніші переваги дискретно-аналогової адитивної форми подання інформації визначають зосередження аналізу на цій групі індикаторних засобів [6].

Дискретно-аналогова форма кодування повідомлень передбачає, що кожен з  $p$  ІЕ  $a_i$  має вагову функцію  $\varpi_i = \varpi(a_i)$ , значення якої пов'язане з його просторовим положенням на ІП та пропорційне його номеру  $i$  в абсолютно впорядкованій множині елементів  $\mathbf{A}$ , і може бути описано як  $\mathbf{A} = \{ a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{p-1}, a_p \}$ . Крім того, для цієї множини виконується умова  $\varpi(a_j) < \varpi(a_{j+1})$  для всіх  $j = 1, (p-1)$ . В основі такого кодування інформації лежать значення вагової функції елементів ІП, які визначаються щодо просторової багатоканальної міри [21].

Візуалізація повідомлень на ІП реалізується ІМ за допомогою кінцевої множини  $l$  символів  $S_{\nu \text{BG}}$ , де  $\nu = \overline{1, l}$ , які утворюють алфавіт адитивної моделі:

$$\Omega_{\text{BG}} = \left\{ S_{1\text{BG}}, S_{2\text{BG}}, \dots, S_{\nu \text{BG}}, \dots, S_{(l-1)\text{BG}}, S_{l\text{BG}} \right\}.$$

Синтез зображень символів алфавіту  $\Omega_{\text{BG}}$  відбувається шляхом збудження підмножини  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu \text{BG}}$  множини елементів ІП  $\mathbf{A}$ , тобто для всіх  $\nu = \overline{1, l}$  виконується  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu \text{BG}} \subseteq \mathbf{A}$ . Оскільки усі повідомлення мають бути унікальними та однозначно розшифруватися, кожному

з символів  $S_{vBG} \subset \Omega_{BG}$  можна поставити у взаємно однозначну відповідність підмножину  $\tilde{A}_{vBG}$  елементів  $a_i$  множини  $A$ :  $S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG}$ .

Адитивна дискретно-аналогова ІМ передбачає формування символів  $S_{vBG}$  з ряду елементів  $a_i$  з послідовними значеннями вагової функції, починаючи від її мінімальної величини  $\varpi_1 = \varpi(a_1)$  до поточного значення  $\varpi_v = \varpi(a_v)$ , яке відповідає інформації, що виводиться відповідно до просторової міри. Ці символи можна описати на множині  $A$  в такому вигляді:

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{A}_{vBG} = \bigcup_{i=1}^v a_i = \{ a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{v-1}, a_v \}. \quad (2)$$

Підвищення апаратної надійності засобів виведення даних забезпечується електричною організацією елементів ІП, при якій вони з'єднуються у вигляді двовимірної матриці з  $n$  груп по  $m$  елементів, де  $m \cdot n = p$ . У кожену групу входять елементи, вагова функція яких в послідовних парах відрізняється на одиницю. При цьому їх загальна шина є лінією одного зі старших розрядів. Значення вагової функції як для кожної групи, так і для елементів груп визначаються їх фізичним положенням на ІП відносно просторової багатоканальної міри. Об'єднані контакти всіх елементів з однаковим відносним значенням вагової функції всередині кожної з груп є шиною відповідного молодшого розряду. У такий спосіб елементи формують ІП, яке складається з множини  $\overline{A_M}$  елементів  $a_{xy}$ , що мають номер  $y$  у групі з номером  $x$ , причому  $x = \overline{1, n}$  та  $y = \overline{1, m}$ , тобто  $\overline{A_M} = \{ a_{11}, a_{12}, \dots, a_{xy}, \dots, a_{n(m-1)}, a_{nm} \}$  або в матричному вигляді:

$$\overline{A_M} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1(y-1)} & a_{1y} & a_{1(y+1)} & \dots & a_{1(m-1)} & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2(y-1)} & a_{2y} & a_{2(y+1)} & \dots & a_{2(m-1)} & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{(x-1)1} & a_{(x-1)2} & \dots & a_{(x-1)(y-1)} & a_{(x-1)y} & a_{(x-1)(y+1)} & \dots & a_{(x-1)(m-1)} & a_{(x-1)m} \\ a_{x1} & a_{x2} & \dots & a_{x(y-1)} & a_{xy} & a_{x(y+1)} & \dots & a_{x(m-1)} & a_{xm} \\ a_{(x+1)1} & a_{(x+1)2} & \dots & a_{(x+1)(y-1)} & a_{(x+1)y} & a_{(x+1)(y+1)} & \dots & a_{(x+1)(m-1)} & a_{(x+1)m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{(n-1)1} & a_{(n-1)2} & \dots & a_{(n-1)(y-1)} & a_{(n-1)y} & a_{(n-1)(y+1)} & \dots & a_{(n-1)(m-1)} & a_{(n-1)m} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{n(y-1)} & a_{ny} & a_{n(y+1)} & \dots & a_{n(m-1)} & a_{nm} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

При однаковій кількості елементів у множинах  $\mathbf{A}$  та  $\mathbf{A}_M$  вони є рівнопотужними, тому між їх елементами існує взаємно однозначна відповідність  $a_i \Leftrightarrow a_{xy}$ . Тоді для елементів з однаковим значенням вагової функції  $\varpi_\nu = \varpi(a_i) = \varpi(a_{xy})$  можна записати, що позиційний номер  $\nu$  елемента в множині  $\mathbf{A}$  визначається виразом  $\nu = m(x-1) + y$ , а  $\nu$ -й елемент множини  $\mathbf{A}_M$  займає в матриці позицію  $y_\nu = \nu - m \cdot E(\nu/m)$  у групі з номером  $x_\nu = E(\nu/m) + 1$ , де  $E$  — антьє. Очевидно, що рівнопотужними також будуть і підмножини  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M$  та  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M$  ( $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M \subseteq \mathbf{A}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M \subseteq \mathbf{A}_M$ ), з елементів яких синтезуються символи  $S_{\nu BG}$ . Тоді для матричного з'єднання елементів ІП вираз (2) можна подати у вигляді:

$$S_{\nu BG} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M = \bigcup_{i=1}^{\nu} \left[ a_{xy} \left| \begin{array}{l} x=E(i/m)+1 \\ y=i-m \cdot E(i/m) \end{array} \right. \right] =$$

$$= \{ a_{11}, a_{12}, \dots, a_{xy}, \dots, a_{x_\nu(y_\nu-1)}, a_{x_\nu y_\nu} \}. \quad (4)$$

Подання  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M$  як підмножини множини  $\mathbf{A}_M$ , записаної у вигляді матриці (де елементи, які входять до  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M$ , відмічені тильдою), виходячи з матричного опису ІП (3), буде мати форму:

$$\mathbf{A}_M = \left\| \begin{array}{cccccccc} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{1y_\nu} & \tilde{a}_{1(y_\nu+1)} & \dots & \tilde{a}_{1(m-1)} & \tilde{a}_{1m} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{2y_\nu} & \tilde{a}_{2(y_\nu+1)} & \dots & \tilde{a}_{2(m-1)} & \tilde{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(x_\nu-1)1} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)2} & \dots & \tilde{a}_{(x_\nu-1)(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)y_\nu} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)(y_\nu+1)} & \dots & \tilde{a}_{(x_\nu-1)(m-1)} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)m} \\ \tilde{a}_{x_\nu 1} & \tilde{a}_{x_\nu 2} & \dots & \tilde{a}_{x_\nu(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{x_\nu y_\nu} & a_{x_\nu(y_\nu+1)} & \dots & a_{x_\nu(m-1)} & a_{x_\nu m} \\ a_{(x_\nu+1)1} & a_{(x_\nu+1)2} & \dots & a_{(x_\nu+1)(y_\nu-1)} & a_{(x_\nu+1)y_\nu} & a_{(x_\nu+1)(y_\nu+1)} & \dots & a_{(x_\nu+1)(m-1)} & a_{(x_\nu+1)m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{(n-1)1} & a_{(n-1)2} & \dots & a_{(n-1)(y_\nu-1)} & a_{(n-1)y_\nu} & a_{(n-1)(y_\nu+1)} & \dots & a_{(n-1)(m-1)} & a_{(n-1)m} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{n(y_\nu-1)} & a_{ny_\nu} & a_{n(y_\nu+1)} & \dots & a_{n(m-1)} & a_{nm} \end{array} \right\}. \quad (5)$$

Двовимірна матрична електрична будова ІП накладає обмеження на одночасне збудження елементів множини  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^M$ , з яких формується зображення символу  $S_{\nu BG}$ . У цьому разі одночасне збудження можливе тільки всіх без винятку елементів з довільно вибраними

однаковими номерами в будь-якому наборі груп. Тому для реалізації двотактного синтезу зображення елементи множини  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$ , подані матрицею (5), з урахуванням такого обмеження поділяються на дві підмножини, що не перетинаються, які збуджуються в різні такти формування символу  $S_{vBG}$ .

$$\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M = \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^D = \left\{ \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D1}, \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D2} \right\}, \quad (6)$$

де  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^D$  — множина, яка тотожна  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M$  та є її динамічним еквівалентом;  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D1}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D2}$  — підмножини множини  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^D$  елементів ІП  $a_{xy}$ , причому  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D1} \cap \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D2} = \emptyset$ .

Обов'язковою умовою створення сталого зорового образу будь-якого візуального символу є перевищення частотою регенерації зображення  $f_S = 1/T_S$  критичної частоти злиття мигтіння [22]. При цьому кожна група елементів  $a_{xy}$ , що входить до відповідної підмножини, збуджується одноразово впродовж кожного періоду регенерації символу протягом інтервалу часу  $\tau_g = T_S/r$ , де  $r$  — кількість тактів синтезу візуального образу на шкалі.

Для двовимірної матриці ІП можлива реалізація тільки двох варіантів формування підмножин елементів індикатора, які не перетинаються: із застосуванням розбивки по старших і по молодших розрядах шкали [23]. Динамічне об'єднання елементів у групи відповідно до першого варіанта передбачає реалізацію логічної ІМ виду:

$$S_{vBG} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^D = \left[ \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D11} \cup \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D21} \right] \Big|_{T_S} =$$

$$= \left[ \bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{v}{m}\right)} \bigcup_{y=1}^m a_{xy} \begin{matrix} | \\ t=t_s + \tau_g - 0 \\ | \\ t=t_s + 0 \end{matrix} \right] \cup \left[ \bigcup_{x=E\left(\frac{v}{m}\right)+1}^{v-mE\left(\frac{v}{m}\right)} \bigcup_{y=1}^m a_{xy} \begin{matrix} | \\ t=t_s + 2\tau_g - 0 \\ | \\ t=t_s + \tau_g + 0 \end{matrix} \right], \quad (7)$$

де  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D11}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D21}$  — підмножини елементів ІП  $a_{xy}$ , які не перетинаються;  $t$  — поточний час динамічного синтезу візуального повідомлення;  $t_s$  — початок періоду формування символу  $S_{vBG}$  на ІП.

Видно, що при реалізації логічної ІМ у формі (7) синтез на ІП символу  $S_{vBG}$  здійснюється в динамічному двотактному режимі й при цьому виділяються дві групи елементів ІП. Протягом першого інтервалу часу  $t_s < t < t_s + \tau_g$  збуджуються усі  $m$  елементів старших розрядів, починаючи з першого та закінчуючи  $E(v/m)$ -м. Другий інтервал  $t_s + \tau_g < t < t_s + 2\tau_g$  відповідає формуванню візуального сигналу за допомогою  $[v - mE(v/m)]$  елементів одного  $[E(v/m) + 1]$ -го старшого розряду ІП. Отримання на ІП цілісного візуального образу, який відповідає символу  $S_{vBG}$ , забезпечується інерційністю зорового аналізатора людини при циклічному повторенні збудження цих двох груп елементів шкали з частотою, яка перевищує критичну частоту злиття мигтіння.

Перейдемо від логічного подання ІМ (7) у вигляді множин елементів ІП до матричного. Для цього використаємо відповідну форму (5) опису збудженого ІП при формуванні символу  $S_{vBG}$ . У результаті отримаємо матрицю  $n \times m$ :

$$\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M = \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{DM} =$$

$$= \begin{pmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1(y_v-1)} & \tilde{a}_{1y_v} & \tilde{a}_{1(y_v+1)} & \dots & \tilde{a}_{1(m-1)} & \tilde{a}_{1m} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2(y_v-1)} & \tilde{a}_{2y_v} & \tilde{a}_{2(y_v+1)} & \dots & \tilde{a}_{2(m-1)} & \tilde{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(x_v-1)1} & \tilde{a}_{(x_v-1)2} & \dots & \tilde{a}_{(x_v-1)(y_v-1)} & \tilde{a}_{(x_v-1)y_v} & \tilde{a}_{(x_v-1)(y_v+1)} & \dots & \tilde{a}_{(x_v-1)(m-1)} & \tilde{a}_{(x_v-1)m} \\ \tilde{a}_{x_v,1} & \tilde{a}_{x_v,2} & \dots & \tilde{a}_{x_v,(y_v-1)} & \tilde{a}_{x_v,y_v} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

При використанні логічної ІМ потрібний опис підмножин  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D11}$  та  $\tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{D21}$  може бути отримано з матриці (8) з урахуванням операто-

ра (7) у вигляді двох матриць  $n \times m$ , кожна з яких подає відповідний такт збудження елементів ІІ:

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\text{vBG}}^{\text{DM11}} = \begin{pmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1(y_v-1)} & \tilde{a}_{1y_v} & \tilde{a}_{1(y_v+1)} & \cdots & \tilde{a}_{1(m-1)} & \tilde{a}_{1m} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \cdots & \tilde{a}_{2(y_v-1)} & \tilde{a}_{2y_v} & \tilde{a}_{2(y_v+1)} & \cdots & \tilde{a}_{2(m-1)} & \tilde{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(x_v-1)1} & \tilde{a}_{(x_v-1)2} & \cdots & \tilde{a}_{(x_v-1)(y_v-1)} & \tilde{a}_{(x_v-1)y_v} & \tilde{a}_{(x_v-1)(y_v+1)} & \cdots & \tilde{a}_{(x_v-1)(m-1)} & \tilde{a}_{(x_v-1)m} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\text{vBG}}^{\text{DM21}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \tilde{a}_{x_v,1} & \tilde{a}_{x_v,2} & \cdots & \tilde{a}_{x_v,(y_v-1)} & \tilde{a}_{x_v,y_v} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Виходячи з (8) — (10) для підмножин, що не перетинаються, при розглянутій двотактній логічній ІМ з формуванням груп по старших розрядах матриці елементів буде справедливо:

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\text{vBG}}^{\text{M}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\text{vBG}}^{\text{DM}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\text{vBG}}^{\text{DM11}} + \tilde{\mathbf{A}}_{\text{vBG}}^{\text{DM21}}. \quad (11)$$

При використанні для реалізації ІМ динамічного об'єднання підмножин елементів ІІ шляхом формування груп по молодших розрядах матриці індикатора аналітичне подання синтезу зображення може бути записано у вигляді [24]:



$$\begin{aligned}
 S_{\nu BG} &\Leftrightarrow \tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^D = \left[ \tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^{D12} \cup \tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^{D22} \right]_{T_s} = \\
 &= \left\{ \bigcup_{y=1}^{\nu - mE\left(\frac{\nu}{m}\right)} \left[ \bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{\nu}{m}\right) + 1} a_{xy} \begin{matrix} t = t_s + \tau_g - 0 \\ \\ t = t_s + 0 \end{matrix} \right] \right\} \cup \\
 &\cup \left\{ \bigcup_{y=\nu - mE\left(\frac{\nu}{m}\right) + 1}^m \left[ \bigcup_{x=1}^{E\left(\frac{\nu}{m}\right)} a_{xy} \begin{matrix} t = t_s + 2\tau_g - 0 \\ \\ t = t_s + \tau_g + 0 \end{matrix} \right] \right\}. \tag{12}
 \end{aligned}$$

Цей оператор описує синтез символу  $S_{\nu BG}$  у динамічному двотактному режимі та визначає дві множини елементів ІІ. При такому способі формування зображення протягом першого інтервалу часу  $t_s < t < t_s + \tau_g$  збуджуються  $mE\left[\nu - mE\left(\frac{\nu}{m}\right)\right]$  молодших елементів усіх  $\left[E\left(\frac{\nu}{m}\right) + 1\right]$  молодших розрядів матриці. Впродовж другого інтервалу часу  $t_s + \tau_g < t < t_s + 2\tau_g$  зображення формується за допомогою  $\left\{m\left[E\left(\frac{\nu}{m}\right) + 1\right] - \nu\right\}$  старших елементів  $E\left(\frac{\nu}{m}\right)$  молодших розрядів ІІ. Внаслідок інерційності зорового аналізатора людини циклічне повторення збудження цих двох груп елементів дає змогу отримати сталий візуальний образ, який відповідає символу  $S_{\nu BG}$ .

Перехід від логічного подання ІМ (12) до матричного здійснюється аналогічно викладеному вище для моделі (7). Використаємо відповідну форму (5) опису збудження ІІ при синтезі символу  $S_{\nu BG}$ . Очевидно, що і для такого варіанта ІМ справедлива матриця (8). Отже, в цьому разі підмножини  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^{D12}$  і  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu BG}^{D22}$  можуть бути отримані з матриці (8) з урахуванням оператора (12) як дві матриці  $n \times m$ :

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM12}} =$$

$$= \left\| \begin{array}{ccccccc} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{1y_\nu} & 0 & \dots & 0 \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{2y_\nu} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(x_\nu-1)1} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)2} & \dots & \tilde{a}_{(x_\nu-1)(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)y_\nu} & 0 & \dots & 0 \\ \tilde{a}_{x_\nu 1} & \tilde{a}_{x_\nu 2} & \dots & \tilde{a}_{x_\nu(y_\nu-1)} & \tilde{a}_{x_\nu y_\nu} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{array} \right\|, \quad (13)$$

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM22}} =$$

$$= \left\| \begin{array}{ccccccc} 0 & \dots & 0 & \tilde{a}_{1(y_\nu+1)} & \dots & \tilde{a}_{1(m-1)} & \tilde{a}_{1m} \\ 0 & \dots & 0 & \tilde{a}_{2(y_\nu+1)} & \dots & \tilde{a}_{2(m-1)} & \tilde{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \tilde{a}_{(x_\nu-1)(y_\nu+1)} & \dots & \tilde{a}_{(x_\nu-1)(m-1)} & \tilde{a}_{(x_\nu-1)m} \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \end{array} \right\|. \quad (14)$$

Аналіз матриць (8), (13) і (14) свідчить про те, що для підмножин, які не перетинаються, при реалізації двотактної логічної ІМ з поділом елементів ІІ на групи по молодших розрядах, можна записати

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{M}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM12}} + \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM22}}. \quad (15)$$

З виразів (11) та (15), а також аналізу всіх чотирьох підмножин елементів  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM11}}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM21}}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM12}}$ ,  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM22}}$ , які використовуються при двотактному формуванні зображення символу  $S_{\nu\text{BG}}$ , можна подати опис одного і того ж зображення для кожного зі способів синтезу у вигляді відповідної суми матриць:

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{M}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM11}} + \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM21}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM12}} + \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM22}}. \quad (16)$$

Бачимо, що двотактне формування символів  $S_{\nu\text{BG}}$  при синтезі візуальних образів адитивної ІМ на матриці елементів ІП є інваріантним щодо вибору принципу розподілу множини  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{M}} = \tilde{\mathbf{A}}_{\nu\text{BG}}^{\text{DM}}$  на дві підмножини, які не перетинаються. У кожній з цих модифікацій формування зображення одночасно збуджуються елементи ІП з однаковими номерами у відповідному наборі груп, що не суперечить обмеженням синхронного керування електричною матрицею ІЕ.

Формування підмножин елементів ІП, що входять у (16), здійснюється електричними сигналами, які генерує СК у динамічному режимі. Для синтезу зображення на ІП у кожен момент часу збуджується відповідна група  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu}^q$  елементів матриці шкали, що, як показано в [25], подається векторним добутком:

$$\tilde{\mathbf{A}}_{\nu}^q = \bar{\mathbf{E}}_{\nu}^{\text{L}q} \times \bar{\mathbf{E}}_{\nu}^{\text{H}q}, \quad (17)$$

де  $\bar{\mathbf{E}}_{\nu}^{\text{L}q}$ ,  $\bar{\mathbf{E}}_{\nu}^{\text{H}q}$  — відповідно  $m$ -елементний та  $n$ -елементний вектори електричних сигналів, які керують молодшими (L) і старшими (H) розрядами матриці ІЕ.

Елементи векторів визначаються як  $e_{li}$  та  $e_{hj}$ , де  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , а їх значення дорівнюють  $e_L$  й  $e_H$  відповідно для шин молодших і старших розрядів індикатора, які збуджуються в поточний момент. При цьому  $\bar{\mathbf{E}}_{\nu}^{\text{L}q}$  описується рядковою, а  $\bar{\mathbf{E}}_{\nu}^{\text{H}q}$  — стовпчиковою матрицею. Група  $\tilde{\mathbf{A}}_{\nu}^q$  складається з елементів, що лежать на перетині шин, до яких підведені електричні сигнали збудження  $e_{li}$  та  $e_{hj}$ . Цей електричний вплив є відповідним рівнем напруги або струму необхідного напрямку залежно від типу ІЕ, які використовуються.



$$\times \left[ \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{array} \right]_{e_{hx_v}} \left. \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} t=t_s+2\tau_g-0 \\ \vdots \\ t=t_s+\tau_g+0 \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

Аналогічно отримуємо аналітичний опис синтезу шкальної ІМ з двотактним формуванням зображення шляхом виділення груп по молодших розрядах матриці індикатора. При цьому будемо виходити зі співвідношення (15) та врахуємо особливості матриць (13) і (14), а також вираз (17), що дає змогу представити необхідні електричні сигнали як

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^M &= \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{DM} = \left[ \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{DM12} + \tilde{\mathbf{A}}_{vBG}^{DM22} \right] \Big|_{T_s} = \\ &= \left\{ \left[ \tilde{\mathbf{E}}_{vBG}^{L12} \times \tilde{\mathbf{E}}_{vBG}^{H12} \right] \Big|_{t=t_s+0}^{t=t_s+\tau_g-0} \right\} \cup \left\{ \left[ \tilde{\mathbf{E}}_{vBG}^{L22} \times \tilde{\mathbf{E}}_{vBG}^{H22} \right] \Big|_{t=t_s+\tau_g+0}^{t=t_s+2\tau_g-0} \right\} = \\ &= \left\{ \left[ \left\| e_{l_1} \quad e_{l_2} \quad \dots \quad e_{l(y_v-1)} \quad e_{l_{y_v}} \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \right\| \times \right. \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times \left\| \begin{array}{c} e_{h1} \\ e_{h2} \\ \vdots \\ e_{h(x_v-1)} \\ e_{hx_v} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\| \left. \begin{array}{c} t = t_s + \tau_g - 0 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ t = t_s + 0 \end{array} \right\} \cup \\
 & \cup \left\{ \left[ \left\| 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ e_{l(y_v+1)} \ e_{l(y_v+2)} \ \dots \ e_{l(m-1)} \ e_{lm} \right\| \times \right. \right. \\
 & \left. \left. \times \left\| \begin{array}{c} e_{h1} \\ e_{h2} \\ \vdots \\ e_{h(x_v-2)} \\ e_{h(x_v-1)} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\| \right. \left. \begin{array}{c} t = t_s + 2\tau_g - 0 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ t = t_s + \tau_g + 0 \end{array} \right\} \right\} .
 \end{aligned}$$

Отримані моделі в матричній формі описують процес динамічно-двотактного синтезу зображень адитивної дискретно-аналогової ІМ на шкалі з матричним електричним з'єднанням елементів. Подано обидва можливі варіанти реалізації цього типу ІМ — з розбиття елементів ІП на групи по молодших і старших розрядах матриці індикатора. Характерною особливістю цих моделей є висока наочність і зручність для практичного комп'ютерного моделювання ІП.

З іншого боку, аналізуючи параметри сигналів збудження ІП у двотактному динамічному режимі, можна стверджувати, що такий підхід до побудови СК у ІП дає можливість одночасно реалізувати обидва шляхи підвищення рівня ЕМС засобів виводу інформації.

По-перше, мінімізується ширина спектра генерованих індикатором паразитних радіосигналів за рахунок використання динамічного режиму роботи СК ІП з формуванням зображення за два такти. При стандартному підході до синтезу зображення на індикаторі в динамічному режимі шляхом сканування матриці по одній з координат ми отримуємо відповідно до (1) ширину спектра радіозавад, яка пропорційна  $n\tau$  при формуванні зображення по старших розрядах або пропорційна  $m\tau$  — при синтезі по молодших розрядах. Для двотактного сканування ширина спектра радіозавад буде пропорційна  $2\tau$ . Таким чином, звуження ефективної ширини спектра радіозавад при реалізації СК на основі моделей (18) та (19) досягає  $n/2$  (або  $m/2$ ). Тобто в типових практичних реалізаціях пристроїв на матрицях  $10 \times 10$  ефективна ширина спектра звужується у 5 разів. Очевидно, що досягнуто максимальний ефект за цим шляхом підвищення рівня ЕМС, оскільки реалізувати динамічне збудження менше ніж за два такти просто неможливо.

По-друге, одночасно у двотактних СК зменшується амплітуда струму, який протікає через СД ІП. Відомо, що видима яскравість СД індикаторів практично визначається середнім значенням струму, що збуджує елементи ІП [15, 16]. Тоді в динамічному режимі в разі сканування матриці по одній з координат ми маємо сформулювати живлення кожного елемента струмом з підвищеною амплітудою  $I_{1m} = nI_0$  або  $I_{2m} = mI_0$ , де  $I_0$  — номінальне значення постійного струму через СД, яке забезпечує потрібний рівень яскравості шкали. Перший вираз стосується випадку динамічного синтезу зображення по старших, а другий — по молодших розрядах матриці ІЕ.

Зрозуміло, що відповідно до (1) це збільшує амплітуду радіозавад у  $n$  або  $m$  разів. У випадку двотактного збудження шкали амплітуд паразитних сигналів буде пропорційна  $I_{3m} = 2I_0$ . Таким чином, зменшення амплітуди радіозавад при реалізації СК на основі моделей (18) та (19) досягає  $n/2$  (або  $m/2$ ). Тобто в реалізаціях пристроїв на матрицях  $10 \times 10$  амплітуда завад зменшується у 5 разів.

Таким чином, практична реалізація СК на основі моделей (18) та (19) одночасно зменшує амплітуду та звужує спектр генерованих індикатором паразитних радіосигналів. У результаті цей комплексний підхід до підвищення рівня ЕМС засобів індикації дає змогу більше ніж у 10 разів зменшити ефективне значення ненавмисних радіозавад для чутливих елементів радіоелектронної апаратури.

Апробація технічної можливості практичної реалізації запропонованих моделей (18) та (19) у вбудованих системах була виконана на основі мікроконтролера (МК) в ролі арифметично-логічного вузла, що забезпечує формування відповідних векторів електричних сигналів (17), які збуджують матрицю  $10 \times 10$  СД шкального індикатора. Така елементна база СК є дуже актуальною, оскільки МК потрібні не тільки для великих виробничих, промислових систем, але й для малогабаритних пристроїв і мобільних вбудованих засобів. У цьому розмаїтті реалізацій до МК висуваються жорсткі комплексні вимоги щодо вартості, габаритів, енергоспоживання, температурного діапазону роботи та стосовно стійкості до інших зовнішніх впливів. Найбільш поширеними МК, які добре себе проявили в серійних і спеціалізованих застосуваннях, є родина MCS-51. Вона підтримується низкою провідних фірм — виробників мікросхем. Одночасно існує велика група програмно сумісних МК, що назагал формує практичний інтерес до таких розробок.

Створена та апробована апаратна реалізація, основою якої є МК i8051, подана на *рис. 2.3.1*. МК DD1 включено за стандартною мінімізованою схемою [26]. Лінійна шкала зі 100 СД, які з'єднані матрицею  $10 \times 10$ , побудована на 10 модулях  $U1 \dots U10$ . Для формування струмів збудження матриці використано 20 ключів: 10 керує шиною позитивного потенціалу ( $Q1 \dots Q10$ ) та 10 — нульовою шиною ( $Q11 \dots Q20$ ). Для обмеження струму через СД шкали використовуються резистори  $R21 \dots R120$ . Органи ручного керування  $S1 \dots S4$  дають змогу оперативно змінювати режим роботи пристрою.



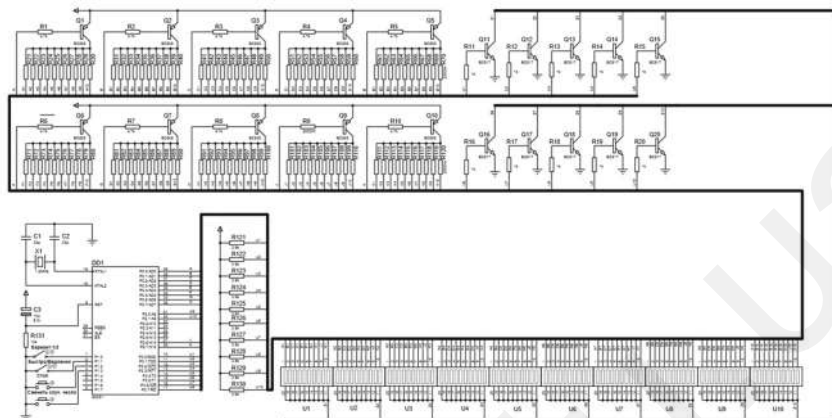
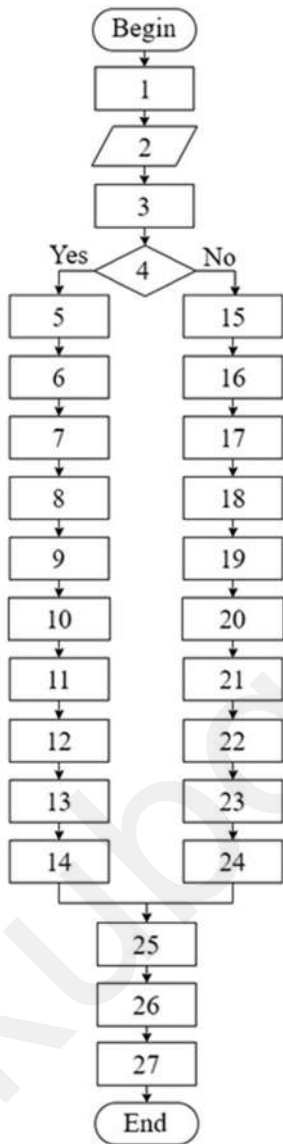


Рис. 2.3.1. Функціональна схема пристрою шкальної індикації на основі МК

Головною складовою пристрою на основі МК є відповідне програмне забезпечення [27]. У цій групі технічних засобів ефективна програмна підтримка апаратури дає можливість отримати найкращий комплекс техніко-економічних параметрів системи в цілому. Відповідні програмні засоби для реалізації моделі (18) були розроблені на мові асемблера, що забезпечило максимальний рівень ефективності шкальної індикації у вбудованих застосуваннях завдяки мінімізації витрат ресурсів МК на обслуговування візуального виводу інформації. Алгоритм цієї програми наведений на рис. 2.3.2 [28].

Розроблена програма реалізує СК, яка збуджує елементи ІП для динамічного формування адитивної ІМ (8), що подана матрицями (13) та (14) для першого й другого тактів циклу відповідно. Формування векторів електричних сигналів збудження СД забезпечує МК DD1 (див. рис. 2.3.1) через порти, потенціали з виходів яких підсилюються струмовими ключами  $Q1 \dots Q20$ . Для цього двозначний код "YX" подається на матрицю елементів ІП  $U1 \dots U10$  (де X і Y — порти МК, що використовуються для керування збудженням шин молодших та старших розрядів матриці або її рядків і стовпців відповідно).



Блок 1 координує функції збудження матриці з системним часом. Блок 2 завантажує поточні дані для візуалізації на шкалі. Блок 3 забороняє передачу нових даних до індикатора, поки повний цикл формування зображення не закінчиться. Блок 4 перевіряє номер поточного такту. Після цього алгоритм поділяється на 2 гілки — для парних та непарних тактів. При виконанні фрагмента програми для відповідного такту обчислюється значення двох чисел — числа для збудження старших розрядів матриці  $A_H$  та числа для молодших розрядів матриці  $A_L$ .

У першому такті отримуємо значення  $A_H = E(A_H)$  (блок 5) та  $A_L = (A_L)_{MAX}$  (блок 6). Далі  $A_L$  визначає змінну  $A_{1L}$  (блок 7) та  $A_H$  — змінну  $A_{1H}$  (блок 8). Блок 9 формує коди керування (КК) молодшими розрядами, а блок 10 — старшими розрядами матриці. Блок 11 вимикає усі СД шкали. Це необхідно, щоб уникнути паразитного підсвічування ІП при зміні такту. Далі отримуємо значення  $A_{1H}$  передається в порт Y (блок 12) і  $A_{1L}$  — у порт X (блок 13). Це дає можливість збудити в першому такті лише необхідні елементи ІП відповідно до (13). Блок 14 інвертує змінну числа тактів.

При формуванні другого такту обчислюються значення  $A_H = E(A_H) + 1$  (блок 15) та  $A_L = 2^{A_1 + 1}$  (блок 16). Далі  $A_H$  визначає змінну  $A_{2H}$  (блок 17), а  $A_L$  — змінну  $A_{2L}$  (блок 18). Блок 19 формує КК молодшими розрядами, а блок 20 — старшими розрядами

Рис. 2.3.2. Алгоритм програмної підтримки шкальної індикації у пристрої на основі МК i8051

ми матриці. Блок 21 вимикає усі СД шкали. Наступні 2 блоки передають раніше сформовану пару КК до портів. Так  $A_{2H}$  передається до Y (блок 22), а  $A_{2L}$  — до X (блок 23). Наступний блок 24 інвертує змінну числа тактів.

Далі гілки програми поєднуються і шкала розблоковується (блок 25) й починається візуалізація відповідної складової зображення на ІП до появи наступного переривання. Блок 26 відповідає за оновлення внутрішніх змінних програми, а блок 27 — за їх збереження в системній пам'яті для дальшого використання при формуванні нових КК. У блоці 27 відбувається вихід з обробника переривань.

Таким чином, запропоновано, апаратно-програмно втілено та апробовано технічну реалізацію одночасного використання двох шляхів підвищення ЕМС засобів візуального виводу інформації в динамічному режимі для вбудованих та спеціалізованих цифрових систем. Отримане звуження спектра ненавмисних радіозавад та одночасне зменшення амплітуди генерованих індикатором паразитних сигналів досягнуто завдяки використанню розроблених двотактних ІМ шкального відображення даних на ІП з матричним з'єднанням елементів. Як технічну платформу для апробації використано СК на основі ефективного та дешевого МК родини MCS-51. Розроблено, застосовано та апробовано програмне забезпечення для СК 100-елементним шкальним індикатором на основі двовимірної СД матриці  $10 \times 10$ . Показано, що така реалізація індикаторної підсистеми забезпечує зниження рівня генерованих радіозавад порівняно з типовими пристроями виводу даних у динамічному режимі шляхом сканування матриці ІП по одній з координат більше ніж у 10 разів. У результаті суттєво підвищується рівень ЕМС засобів індикації, що вкрай важливо при створенні та експлуатації пристроїв та систем для мобільних і рухомих об'єктів.

Отримані результати є цікавими та корисними при створенні вбудованих систем різного призначення. Найбільші техніко-економічні переваги запропонованого підходу до реалізації засобів індикації проявляються в розробках з обмеженим простором для розташування апаратури системи.

## ДЖЕРЕЛА

1. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» від 01.06.2000 р. / Верховна рада України. *Офіційний вісник України*. 2000. № 26 (14 липня). С. 5, ст. 1079, код акта 16154/2000.
2. Управление электромагнитным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учеб. пособ. / ред. М.А. Быховский. Москва: ЭКОТрендз, 2006. 376 с.
3. Чемес С., Ямпольський Ю. Електротехнічні пристрої радіоелектронних засобів: монографія. Одеса: Бахва, 2014. 564 с.
4. Cruz P. M. A. M. d. Semantic figurative metaphors in information visualization: Tese de doutoramento. 2016. URL: <http://hdl.handle.net/10316/31166> (date of access: 14.12.2020).
5. Семакин И., Хеннер Е. Информационные системы и модели. Москва: Бином, 2005. 303 с.
6. Bushma A. V. Increase of data protection level for visual information in control systems. *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*. 2010. Vol. 13, no. 3. P. 235–239.
7. Boy G. A. Handbook of Human-Machine Interaction: A Human-Centered Design Approach. Taylor & Francis Group, 2017. 478 p.
8. Peckol J. K. Embedded Systems: A Contemporary Design Tool. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2019. 1080 p.
9. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К.: Вища школа, 1983. 455 с.
10. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина. Москва: Физматлит, 2004. 704 с.
11. Harris D. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Vol. 6: Industrial Ergonomics, Hci, and Applied Cognitive Psychology. Taylor & Francis Group, 2016. 382 p.
12. Бушма А.В., Сукач Г.А., Ярцев В.П. Компьютерное имитационное моделирование шкального представления информации. *Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика*. 2006. № 9. С. 16–21.
13. Бушма А.В. Информационная избыточность форм визуализации данных как средство повышения надежности радиоэлектронной аппаратуры. *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. 2003. Т. 46, № 1–2, ч. 2. С. 8–15.
14. Held G. Introduction to light emitting diode technology and applications. Boca Raton: Auerbach, 2009.
15. Hui R. Photo-Electro-Thermal Theory for LED Systems: Basic Theory and Applications. Cambridge University Press, 2017. 150 p.

16. Dakin J. P., Brown R. G. W. Handbook of Optoelectronics. Taylor & Francis Group, 2017. 2192 p.
17. Platt C., Jansson F. Encyclopedia of Electronic Components Vol. 2: LEDs, LCDs, Audio, Thyristors, Digital Logic, and Amplification. Make:, 2014. 320 p.
18. Optoelectronic Designer's Catalog. Hewlett-Packard Co., USA. 2000. 1024 p.
19. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Москва, 1952. 192 с.
20. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. Москва, 1964. 695 с.
21. Szweczyk R., Kaliczyńska M., Zieliński C. Progress in Automation, Robotics and Measuring Techniques: Vol. 3 Measuring Techniques and Systems. Springer, 2015. 364 p.
22. Shmelova, T., Sikirda, Y., Sterenharz, A. Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries. IGI Global, 2019. 548 p.
23. Bushma A.V., Sukatch G.A. Possible variants of two-cycle discrete-analog representation of information. *Radioelectronics and Communication Systems*. 2006. Vol. 49, no. 2. P. 11–17.
24. Bushma A.V., Sukatch G.A. Optimization of data dynamic discrete-analog representation. *Radioelectronics and Communication Systems*. 2003. Vol. 45, no. 7. P. 66–72.
25. Бушма А. В. Моделирование процесса возбуждения светодиодных матриц. *Изв. вузов. Приборостроение*. 2003. Т. 46, № 10. С. 40–44.
26. Sagar D. K. Microcontroller 8051. Alpha Science International, Limited, 2011. 338 p.
27. Peckol J. K. Embedded Systems: A Contemporary Design Tool. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2019. 1080 p.
28. Bushma A.V., Turukalo A.V. Software controlling the LED bar graph displays. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*. 2020. Vol. 23, no. 3. P. 329–335.

## 2.4. ПОРІВНЯННЯ ЧАСУ ДОСТУПУ ДО ДАНИХ, ОРГАНІЗОВАНИХ У РІЗНІ СТРУКТУРИ МОВИ JAVASCRIPT

**Владислав Яскевич**

(Київський університет імені Бориса Грінченка)

Для оптимального розв'язку задачі крім алгоритму дуже важливо, які структури даних будуть використані під час побудови рішення. Швидкодія алгоритму крім його характеристик (час виконання операторів, глибина алгоритму) визначається також і часом доступу до даних, що зумовлює важливість вибору їх структури. Для зберігання даних часто використовуються масиви і хеш-таблиці. Мета статті — порівняти ефективність використання типу Array і Set мови JavaScript з точки зору швидкого доступу до даних.

Масиви JavaScript дуже зручні тим, що мають багато вбудованих методів для їх обробки. Використання методів масивів `foreach`, `map`, `filter`, `reduce`, `some`, `every` дає можливість писати програми в декларативній парадигмі програмування [1]. Множини Set зручні тим, що зберігають лише унікальні значення.

Важливим критерієм є час пошуку елемента в колекції. У множини Set складність пошуку  $O(1)$ . Для масиву Array —  $O(n)$ . Якщо зміни вихідної колекції відбуваються не часто, то можна відсортувати масив і використати бінарний пошук, складність алгоритму якого  $O(\log(n))$ .

Проте для кінцевого користувача важливим є не складність алгоритму, а реальний час роботи, на який впливає безліч інших факторів. Інтерес становить і те, для яких розмірів вихідної колекції час пошуку даних в Array і Set будуть співрозмірні. Також цікавим є час додавання елемента. У [2] стверджувалося, що швидкість додавання елемента до множини Set у 6,73 рази швидше, ніж до масиву Array.

Було проведено низку тестів для вимірювання часу доступу. Для цього був створений масив розмірністю  $n$  з елементами, що мають значення від 0 до  $n-1$ , і така ж сама множина. Далі за допомогою

методів консолі `console.time()` і `console.timeEnd()` вимірювався час пошуку. Бралися найгірші умови для лінійного пошуку — відсутній елемент, в нашому випадку — `-1`. Пошук у масиві здійснювався методом `includes()`, у множині — `has()`. Для бінарного пошуку була написана власна функція. Результати тестів наведені в *табл. 2.4.1*.

Таблиця 2.4.1

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ДОСТУПУ  
ДО РІЗНИХ СТРУКТУР ДАНИХ

Кількість елементів	Set		Array		Binary Search	
	O(1)	t, мс	O(n)	t, мс	O(log(n))	t, мс
100	1	0,29	100	0,27	2	0,27
1 000	1	0,27	1 000	0,30	3	0,24
10 000	1	0,36	10 000	0,29	4	0,25
100 000	1	0,36	100 000	0,71	5	0,28
1 000 000	1	0,30	1 000 000	5,74	6	0,31
10 000 000	1	0,28	10 000 000	53,97	7	0,63

Як свідчать тести, час пошуку для множини не залежить від її розміру, що цілком відповідає теорії. Для масивів залежність часу лінійного пошуку від кількості елементів чітко простежуються для масивів з кількістю елементів порядку 100 000 та більше.

Час пошуку в множині й бінарний пошук практично збігаються. Різниця в часі помітна для колекцій порядку 10 000 000 елементів. При цьому бінарний пошук для таких колекцій всього удвічі довший, ніж пошук у множині.

Для досить великих масивів (десятки тисяч елементів) час пошуку для всіх трьох варіантів практично однаковий. Для колекції розміром 100 000 елементів лінійний пошук проводиться удвічі довше, ніж бінарний та пошук у множині.

Невеликі розбіжності часу вимірювання для колекцій до 10 000 елементів пов'язані з дуже маленьким часом вимірювання — долі мілісекунд.

Другий тест досліджував співвідношення часу вставки в різні структури. Вставка в масив здійснювалася методом `push()`, складність  $O(1)$ , у множину — методом `add()`, складність  $O(1)$ . Метод `unshift()` не був вибраний, оскільки кожна вставка викликає послідовний зсув усіх елементів.

Перший варіант тесту — це вставлення елемента до порожньої колекції. Під час використання Node.js були отриманні значення, подібні до наведених у [2]. Проте якщо змінити порядок проведення тесту: спочатку додати елемент у масив, а потім у множину, то результати змінюються на протилежні. Декілька тестів підряд та тести, проведені в console Chrome, дають приблизно однаковий час вставлення елемента в масив та в множину.

Другий варіант тесту на вставлення елемента — заповнення колекції різними елементами зі значеннями в діапазоні від 0 до  $n-1$ . Якщо вибрати однакові значення, то вони не будуть занесені до множини. І в результаті остання буде набагато меншою, ніж масив, що призведе до неоднакових умов тестування.

Було вибрано другий варіант заповнення колекції різними елементами зі значеннями в діапазоні від 0 до  $n-1$ , що дає можливість більш точно оцінити час виконання операцій. Результати тесту заповнення колекцій наведено в *табл. 2* та на графіку *рис. 2.4.1*.

Таблиця 2.4.2

## РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУ ЗАПОВНЕННЯ КОЛЕКЦІЙ

Кількість елементів	Set (add)		Array (push)	
	$O(n)$	t, мс	$O(n)$	t, мс
100	100	0,072	100	0,063
1 000	1 000	0,583	1 000	0,339
10 000	10 000	7,559	10 000	5,482
100 000	100 000	33,817	100 000	15,017
1 000 000	1 000 000	616,856	1 000 000	79,171
10 000 000	10 000 000	9573,006	10 000 000	1150,947



Час вставки в масив виявився меншим, ніж до множини. Це особливо помітно для колекцій порядку понад 1 000 000 елементів: час вставки до множини на порядок більший, ніж до масиву. Хоча теоретично час мав би бути одного порядку.

Також цікаво, що створити та заповнити масив на 100 000 000 елементів вдалося, а під час створення та заповнення даними множини такого ж розміру виникає помилка.

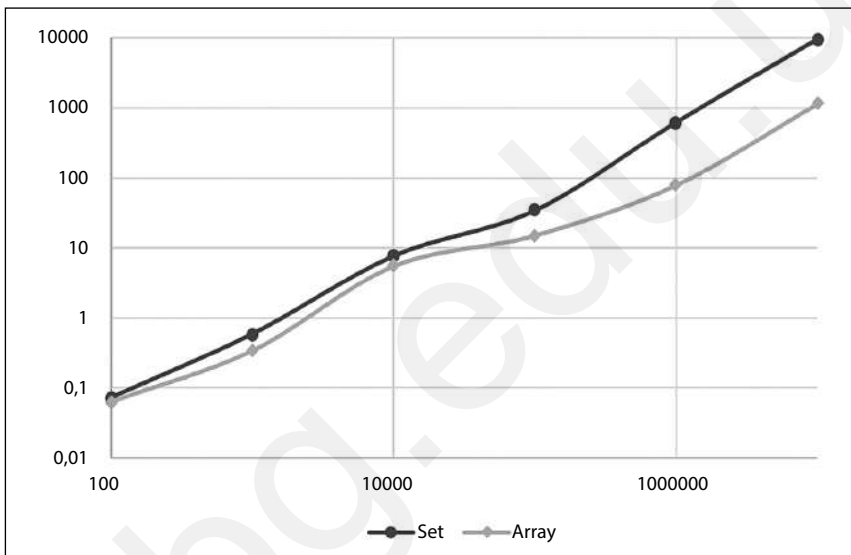


Рис. 2.4.1. Результати тесту заповнення колекцій

Тест на час видалення більш складний, оскільки при видаленні з масивів можуть утворитися дуже різні варіанти. У першому варіанті видалення потрібного елемента доведеться спочатку витратити час на пошук, а потім зробити видалення. Виникає запитання, чи треба зсувати елементи, що залишилися, або залишити розріджений масив? Другий варіант — видалення спочатку масиву (принцип черги). У цьому разі також потрібен зсув елементів. І третій варіант — видалення з кінця масиву (принцип стека) за допомогою методу pop.

Час однієї операції видалення дуже малий, тому для проведення тестування бралася колекція і з неї повністю вилучалися елементи по одному. Для Set був застосований метод delete, для Array — метод pop. Результати тесту на видалення елементів з колекції наведені в табл. 2.4.3.

Таблиця 2.4.3

## РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУ НА ВИДАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ З КОЛЕКЦІЇ

Кількість елементів	Set (delete)		Array (pop)	
	O(n)	t, мс	O(n)	t, мс
100	100	0,113	100	0,08633
1 000	1 000	0,358	1 000	0,283
10 000	10 000	4,686	10 000	1,669
100 000	100 000	47,992	100 000	8,873
1 000 000	1 000 000	654,467	1 000 000	9,78
10 000 000	10 000 000	9582,71	10 000 000	102,23

Час видалення елементів з множини типу Set практично збігається з часом заповнення та майже лінійно залежить від кількості елементів. Такий результат є цілком очікуваним. Проте час видалення елементів з масиву за допомогою методу pop виявився набагато меншим, ніж з множини, й не зовсім лінійно залежним від кількості елементів. Також час видалення елементів з масиву виявився на порядок меншим, ніж час вставлення для масивів порядку 1 000 000 та 10 000 000 елементів.

Різниця між часом заповнення та очищення масиву скоріше за все виникла за рахунок часу виділення додаткової пам'яті для елементів масиву, а більший час роботи з множиною — за рахунок роботи хеш-функції.

Всі розглянуті тести не мали складності  $O(n^2)$ . Для наступного тесту використана задача пошуку в масиві цільової суми, взята з [3].

**Задача.** Дано невідсортований масив цілих чисел і значення  $sum$ . Запишіть функцію, яка повертає `true` в тому разі, коли в результаті складання двох будь-яких елементів цього масиву вийде значення  $sum$ . Якщо таких елементів у масиві немає — функція має повернути `false`.

Розв'язання цієї задачі можливе як мінімум трьома способами. Перший — пошук грубою силою (*brute-force*). Беремо по черзі кожен елемент масиву та перевіряємо, чи є в ньому інший елемент, сума з яким дорівнюватиме цільовій сумі. За рахунок двох вкладених циклів складність такого алгоритму —  $O(n^2)$ . Другий спосіб — відсортувати вхідний масив та скористатися бінарним пошуком. У такому разі отримуємо теоретичну складність  $O(\log(n))$ . Третій спосіб полягає в тому, щоб використати додаткову структуру даних з часом пошуку  $O(1)$ . Наприклад, хеш-таблицю у випадку мови JavaScript, наприклад `Set`. Тоді часова складність алгоритму буде  $O(n)$ . Тобто час витратитиметься на заповнення нової структури даними.

Результати тестування трьох способів розв'язання задачі наведено в *табл. 2.4.4* та на графіку *рис. 2.4.2*.

Таблиця 2.4.4

#### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ НА ЧАС РОБОТИ ФУНКЦІЙ ПОШУКУ ЦІЛЬОВОЇ СУМИ

Кількість елементів	Set		Binary Search		Brute-force	
	$O(n)$	$t$ , мс	$O(n \log(n))$	$t$ , мс	$O(n^2)$	$t$ , мс
100	100	1,046	200	1,49	10 000	1,80
1 000	1 000	2,077	3 000	2,09	1 000 000	11,67
10 000	10 000	6,14	40 000	8,42	100 000 000	159,91
100 000	100 000	20,89	500 000	96,41	10 000 000 000	13939,7
1 000 000	1 000 000	156,33	6 000 000	859,33		
10 000 000	10 000 000	1361,7	70 000 000	9561,33		

Результати тесту свідчать про те, що залежність реального часу роботи збігається з теоретичною для масивів порядку 10 000 елементів та більше. Для масивів до 1000 елементів практично не принципово, який саме спосіб застосовувати. Важливіше простота алгоритму. Для масивів до 100 000 елементів використання множини Set та бінарний пошук мають час одного порядку. Мінусом використання Set є виділення додаткової пам'яті, бінарного пошуку — дещо складніший алгоритм.

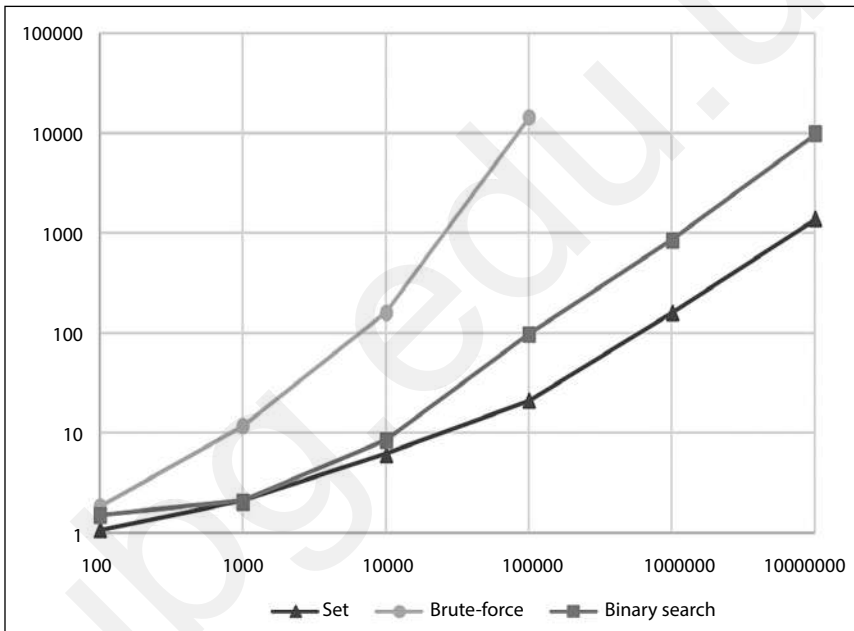


Рис. 2.4.2. Результати тестування на час роботи функцій пошуку цільової суми

Виходячи з результатів експериментів, можна дійти таких висновків:

— для колекцій розміром до сотень тисяч елементів час обробки масивів Array і множин Set має однаковий порядок. Для вибору структури важливішою є зручність застосування і методи, які дає кожна з них.

— для колекцій понад 1 000 000 елементів краще використовувати множину, але якщо масив упорядкований, то в цьому разі бінарний пошук дає той же порядок часу доступу.

При цьому заповнення та видалення елементів з масиву відбувається швидше, ніж заповнення та видалення елементів з множини.

Слід також зазначити, що пошук здійснювався для найгіршого випадку — шуканий елемент був відсутній у колекції. У разі кращої умови — елемент на першій позиції — час пошуку практично збігався для всіх трьох випадків.

### ДЖЕРЕЛА

1. Declarative Programming with JavaScript. URL: <https://dev.to/adnanbabakan/declarative-programming-with-javascript-2h97> (дата звернення: 05.11.2020).

2. Ускоряем JavaScript-код с использованием типа данных Set. URL: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/447578/> (дата звернення: 05.11.2020).

3. How to: Work at Google — Example Coding/Engineering Interview. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=XKu\\_SEDAykw](https://www.youtube.com/watch?v=XKu_SEDAykw) (дата звернення: 15.11.2020).

## 2.5. ТЕНДЕНЦІЇ ПОБУДОВИ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Вадим Абрамов**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

З розвитком економіки збільшується кількість пристроїв, які потрібно контролювати й керувати ними. Для вирішення проблем взаємодії великої кількості приладів була створена концепція інтернету речей (Internet of Things (IoT)). Це стало революцією в галузі автоматизації керування фізичними процесами, оскільки IoT є свого роду розширенням більш ранніх технологій автоматизованих систем керування із об'єднанням підходів, технологій і програмно-апаратного забезпечення. І головне те, що з'явилося узагальнене поняття структурної організації мережі IoT, чого раніше не було.

Передумовами до цього стали мініатюризація, зниження енергоспоживання і цін в електроніці, широке поширення мереж бездротового зв'язку і наявність Інтернету як готової мережі.

Мережа інтернету речей виникла як концепція, в якій фізичні пристрої реального світу мають унікальний ідентифікатор і підключаються до інтернету без будь-якого втручання людини [1]. Наразі концепція дещо змінилася. Зараз мережа IoT об'єднує велику кількість технологій, які дають змогу глибоко аналізувати стан об'єктів керування і швидко приймати оптимальні рішення.

Фізичним приладом може бути що завгодно, наприклад, давач зовнішньої освітленості в будинку, монітор серцевого ритму людини, регулятор температури в рефрижераторі тощо. Пристрої в таких мережах взаємодіють одне з одним за допомогою різних інтерфейсів і протоколів передачі даних. Рішення з керування може бути прийнято людиною або обчислювальним пристроєм з відповідною програмою. Збір та реєстрація даних відбувається безперервно, без впливу людини. Аналіз отриманих даних здійснюється автоматично заздалегідь заданими алгоритмами з реагуванням на будь-які події в режимі реального часу.

## Принципи роботи мережі IoT

IoT включає набір фізичних об'єктів, кожен з яких містить мікроконтролер, що забезпечує інтелектуальність; датчик, який вимірює будь-який фізичний параметр, і / або виконавчий механізм, що здійснює управлінське рішення, та можливість їх взаємодії з Інтернетом або будь-якою іншою мережею.

Інтернет речей підтримується цілим комплексом технологій, таких як інтерфейси прикладного програмування (API), що забезпечують підключення пристроїв до інтернету. Серед інших найважливіших IoT-технологій — інструменти для керування великими даними, прогнозна аналітика, штучний інтелект і машинне навчання, хмарні технології, радіочастотна ідентифікація (RFID) [2].

У літературі IoT вважається пов'язаним з інтелектуальними предметами і забезпечує комунікацію «в будь-який ЧАС» і «в будь-якому МІСЦІ». Рекомендація Y.2060 поширює цю концепцію на віртуальні речі з додаванням комунікації між «будь-якими РЕЧАМИ» [3] (рис. 2.5.1).



Рис. 2.5.1. Тривимірна модель IoT [3]

*Основні проблеми й напрями розвитку IoT [4].*

1. IoT вперше об'єднав світ операційних технологій (OT), великої кількості датчиків і вимірювань даних зі світом IT.

2. Виникли проблеми обробки великих даних Big Data і масштабування зростаючого обсягу технічних пристроїв та даних (IoT Scalability);

3. IoT розробники і користувачі мають розв'язувати завдання оптимізації ризиків компрометації даних (security) і фізичного збитку (safety).

4. Складність керування речами. При збільшенні розмірності систем потрібні нові алгоритми обслуговування та оптимізації під час розподілу сервісів обслуговування між хмарною і термінальною частинами.

5. Розрядність контролерів дійде до 32, основні функції ядра поповняться функціями шифрування та енергозбереження.

6. Одним із найважливіших стане зниження енергоспоживання.

Розвиток насамперед отримають Low-Power Wide-Area Networks — малоспоживальні широкомасштабні мережі. Основні вимоги до них: швидкість передачі в десятки кілобіт на секунду; покриття масштабу країни; термін служби батареї 10 років і більше; низька вартість термінального пристрою (device layer); підтримка тисячі пристроїв, підключених до базової станції.

При розробці IoT бажано виконувати такі рекомендації [5]:

- 1) прозорість — рішення не має змінювати стиль життя споживача;
- 2) бездротовість — найбільш популярними будуть бездротові пристрої;
- 3) захист даних — дані повинні бути захищені;
- 4) збільшення енергоефективності — зменшує проблеми з батареями.

Основні властивості інтернету речей [6; 7].

1. Великі дані. Аналогові дані становлять проблему для IoT, оскільки їх потрібно обробляти інакше, ніж цифрові.

2. Постійне підключення до інтернету дає можливість здійснювати безперервний моніторинг і керування в режимі реального часу.

3. Рівні обробки — оперативна в реальному часі й архівна. Обробка в реальному часі необхідна для визначення негайного відгуку системи керування і відповідного корегування, наприклад у військових додатках або робототехніці. З іншого боку, архівовані дані в центрі обробки даних або в хмарі можуть бути вилучені



для порівняльного аналізу з більш новими поточними даними, наприклад, щоб отримати уявлення про сезонну поведінку турбіни, яка виробляє електроенергію. Отже, обробка великих даних в IoT може бути здійснена в широкому діапазоні часу і місця розташування.

4. Безпосередність проти глибини. У сьогоднішніх традиційних рішеннях IoT є компроміс між швидкістю і глибиною обробки даних. Тобто можна відразу отримати результат, застосовуючи елементарну аналітику, наприклад порівняння температури. Швидкість тут має вирішальне значення. З іншого боку, глибоке розуміння процесів вимагає складної обробки і часу.

5. Відбувається переміщення глибоких обчислень ближче до джерела даних, до точок збору та накопичення даних у датчиках і мережевих шлюзах.

6. Наступна буква «V». Великі дані зазвичай характеризуються чотирма літерами «V» — об'ємом, швидкістю, різноманітністю і цінністю. Пропонується нова «V» — Видимість. Фахівці по всьому світу повинні мати можливість бачити ці дані й працювати з ними. У тривимірну модель додається «Видимість», що не залежить від часу, місця і пристроїв даних.

7. Логічна структура IoT. Аналіз прикладів існуючих систем [7] свідчить про те, що логічна структура IoT має вигляд, зображений на рис. 2.5.2.

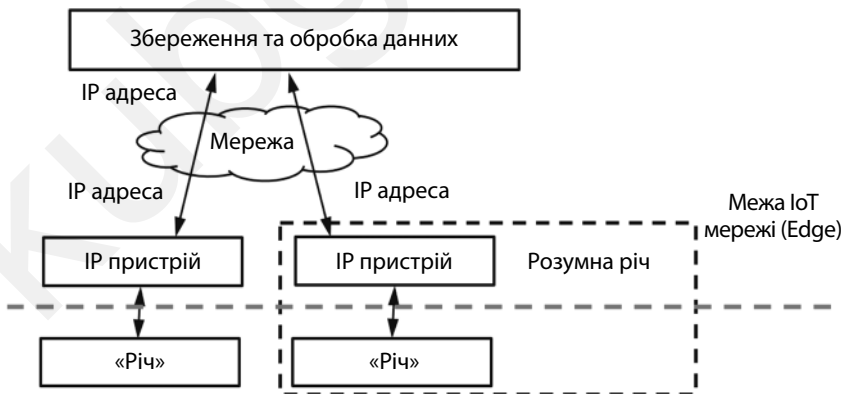


Рис. 2.5.2. Логічна структура IoT [7]

### Еталонні моделі IoT

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ-Т, *англ.* International Telecommunication Union (ITU)) запропонував еталонну модель IoT, яка описана в Рекомендації Y.2060 [8].

Одним із важливих аспектів, на який звертається увага у цій моделі, є той факт, що IoT на ділі — не мережа фізичних речей. Це скоріше мережа пристроїв, які з'єднані з фізичними речами й прикладними платформами, такими як комп'ютери, планшети і смартфони, що здійснюють аналіз інформації та керування (*рис.* 2.5.3). Шлюз підтримує необхідні мережеві технології як для локальних, так і для глобальних мереж, взаємодію з додатками, керування мережею і функції безпеки. Ці технології можуть включати в себе Ethernet, ZigBee, Bluetooth і Wi-Fi, а також стільниковий зв'язок, DSL і кабельний доступ.



*Рис.* 2.5.3. Структура мережі за Рекомендацією Y.2060

Еталонна модель IoT за Рекомендацією Y.2060 складається з чотирьох рівнів плюс можливість керування і безпеки (*рис.* 2.5.4).

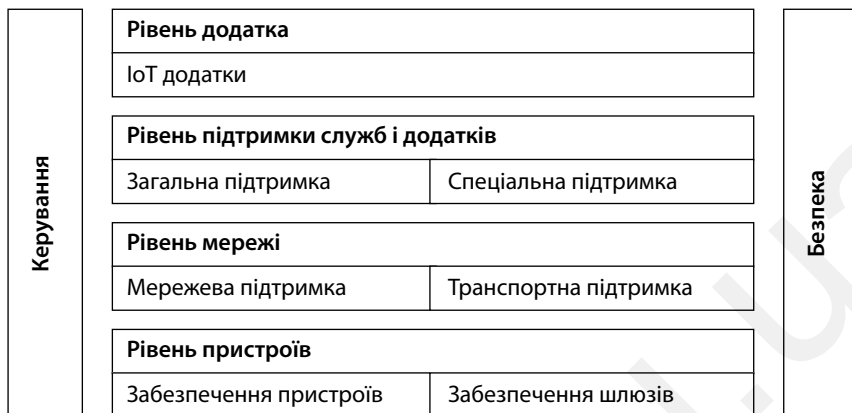


Рис. 2.5.4. Еталонна модель IoT за Рекомендацією Y.2060 [8]

Рівень мережі відповідає мережевому і транспортному рівню OSI. Рівень підтримки послуг і додатків надає можливості, які використовуються додатками. Додатки — це спільне опрацювання даних, керування і БД. Рівень додатків складається з усіх додатків, які взаємодіють з IoT-пристроями [3].

Рівень можливостей управління охоплює традиційні функції керування мережею, тобто пристроями, конфігурацією, обліком, показниками та безпекою.

Рівень можливостей забезпечення безпеки включає загальні можливості, які не залежать від додатків. У Рекомендації Y.2060 приклади загальних можливостей забезпечення безпеки включають:

- на рівні програми: авторизацію, автентифікацію, захист конфіденційності й цілісності даних і програми, загальний захист та антивірусний захист;

- на рівні мережі: авторизацію, автентифікацію, конфіденційність даних, захист цілісності даних;

- на рівні пристрою: автентифікацію, авторизацію, перевірку цілісності пристрою, керування доступом, захист конфіденційності й цілісності даних.

Всесвітній форум IoT (IoT World Forum (IWF)) лідерів індустрії, включаючи IBM, Intel і Cisco, у жовтні 2014 р. опублікував еталонну модель IoT [9] (рис. 2.5.5). Вона є загальною структурою, поклика-

ною допомогти галузі прискорити розгортання IoT. Модель призначена для того, щоб стимулювати співпрацю та сприяти створенню повторюваних моделей упровадження [10].

Ця еталонна модель є корисним доповненням до моделі МСЕ-Т. Документи МСЕ-Т роблять наголос на рівнях пристрою та шлюзу, описуючи верхні рівні лише в загальних рисах. IWF стурбований більш масштабним питанням розробки додатків, проміжного програмного забезпечення і функцій підтримки для корпоративного інтернету речей.

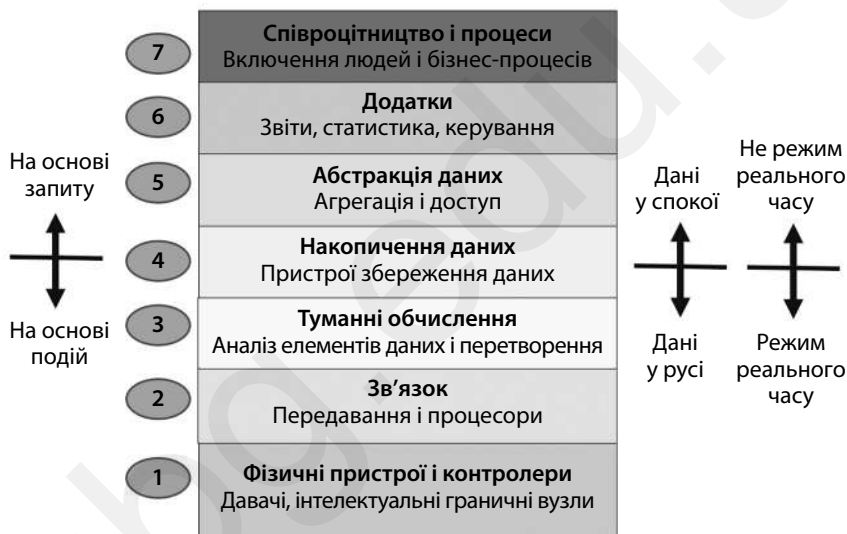


Рис. 2.5.5. Еталонна модель Всесвітнього форуму IoT [9]

Документальний опис моделі IWF свідчить про те, що вона [9] має такі характеристики:

- спрощує: допомагає розбити складні системи на частини так, щоб кожна з них стала більш зрозумілою;
- прояснює: надає додаткові відомості для точної ідентифікації рівнів IoT і вироблення загальної термінології;
- ідентифікує: аспекти, в яких ті чи ті типи обробки оптимізовані в різних частинах системи;

— стандартизує: це перший крок до того, щоб розробники могли створювати продукти IoT, здатні взаємодіяти одне з одним;

— організовує: робить IoT реальним і доступним, а не просто абстрактною концепцією.

У багатьох впроваджуваних системах IoT мережа може генерувати великі обсяги даних. Наприклад, нафтові родовища можуть генерувати до терабайта даних щодня. Так, замість того, щоб зберігати їх у централізованому сховищі, доцільно виконувати якомога більшу частину обробки даних ближче до давачів. Тому завданням рівня периферійних обчислень (edge computing level) є перетворення мережевих потоків даних в інформацію, придатну для зберігання й обробки.

Модель IWF містить такі приклади операцій [9] на рівні периферійних обчислень:

1) аналіз — аналіз даних за критеріями, тобто чи підлягають вони обробці на більш високому рівні;

2) форматування — переформатування даних для однакової високорівневої обробки;

3) розархівування / декодування — обробка криптографічних даних з додатковим контекстом;

4) дистилляція / скорочення — скорочення даних для того, щоб мінімізувати обсяг високорівневих даних і трафік у мережі;

5) оцінка — визначення, чи перевищують дані порогове значення для направлення їх додатковим одержувачам.

Обробка на рівні периферійних обчислень іноді називається туманними обчисленнями (Fog Computing). Туманні обчислення і туманні служби, як очікується, стануть унікальною характеристикою IoT. Це тренд, протилежний хмарним обчисленням. Туманні обчислення вирішують проблеми, що виникли внаслідок діяльності тисяч або мільйонів «розумних» пристроїв, включаючи питання безпеки, конфіденційності, обмежених можливостей мережі й затримки.

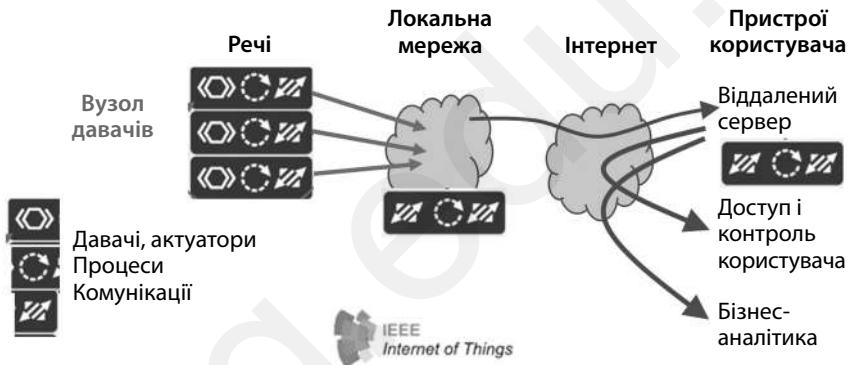
### **Загальна топологія практичних рішень**

Моделі IoT мають багаторівневу архітектуру, але топологія IoT відрізняється від моделі OSI. Це нелінійний і більш складний граф потоків. Деякі компоненти є необов'язковими і можуть бути відсутніми в конкретному класі рішень.

IoT-рішення має два фізичних розміщення: перший — це кінцеві (периферійні) пристрої, а другий — в центрі обробки даних Backend на серверах або в хмарі. У той же час це не класична архітектура клієнт-серверного додатка [11].

У літературі описуються практично реалізовані системи, у яких функції зосереджені в декількох рівнях (від 3 до 12).

Загалом мережа IoT має три рівні: периферійний рівень збору даних і керування, рівень мережевої передачі, рівень додатків і прийняття рішення (наприклад, як показано на *рис. 2.5.6* [12]). Аналіз різних систем свідчить про те, що ці три рівні є базовими для будь-якої архітектури.



*Рис. 2.5.6.* Тривінева архітектура IoT [12]

Рівні багаторівневих структур являють собою розгорнуті базові рівні. Це можна спостерігати на прикладах [10; 13–14].

У [15] описана система із чотирма рівнями: польові пристрої, керування, supervisor-керівник і засоби керування, загальне керування. Ще одна система IoT включає мережеві речі, системи агрегування даних датчиків і перетворення аналого-цифрових даних, периферійні системи. Вона виконує попередню обробку даних перед їх передачею в центр обробки даних (або хмару), де останні аналізуються, зберігаються і виробляється управлінське рішення [6].

В архітектурі IoT деяка обробка даних може відбуватися на кожному з рівнів. Однак можливості низьких рівнів обмежені обчислювальною потужністю, доступною на кожному пристрої IoT.

Дані з давачів генеруються в аналоговій формі. Їх необхідно агрегувати і перетворити в цифрові потоки для дальшої обробки. Ці функції виконують системи збору даних (DAS) [15; 16; 17].

У [18] висвітлено п'ятирівневу систему, що включає такі рівні: фізичних процесів; зв'язку; керування, зберігання; прикладний та управління.

У семирівневій системі [19] нижній рівень ОТ (Edge — операційна частина) складається з рівня давачів, рівня non-IP мереж керування, рівень IP мереж. Верхній рівень РІТ (Backend) — платформа інформаційних технологій (комутація і зв'язок, операційний центр, зовнішні зв'язки, зовнішні мережі й керування).

Найбільш детально описані функції у 12-рівневій системі [11]: 1. Configuration Layer — рівень конфігурацій; 2. Presentation Layer — рівень представлення; 3. Notification Layer — рівень повідомлення; 4. Big Data, Analytic Layer; 5. ETL Layer (протоколи RabbitMQ, MQTT, Kafka. Docker containers, Lambda/Function. SQL, NoSQL, Bucket storages); 6. Middleware Layer; 7. Security Layer; 8. Wide Network Layer; 9. Gateway Layer; 10. Local Network Layer — рівень периферійної комунікації (протоколи Ethernet, WiFi, LTE, CAN, ZigBee, Zwave, BLE, LoRa); 11. Edge Layer — рівень периферійних обчислень; 12. Physical Layer — давачі й актуатори.

Big Data and Analytic Layer — рівень аналітики залежить від конкретного додатка IoT. Великі дані й аналітичний рівень отримуватимуть ситуативну інформацію з усього набору периферійних пристроїв. Ця частина менш стандартизована, тому що дуже відрізняється в межах різних завдань і рішень. Алгоритми AI / ML (штучний інтелект і машинне навчання) також широко використовуються в цьому шарі.

Окремо слід дещо зазначити про шлюзи для рішень розумного будинку. Шлюз у такому класі рішень часто об'єднують з пристроями телевізійних адаптерів або з блоком керування домашньою безпекою. У найближчому майбутньому слід очікувати інтеграцію всіх трьох компонент. Роль шлюзу виконують спеціалізовані комп'ютери з компонентами машинного інтелекту.

Рівень ETL (ETL від *англ.* Extract, Transform, Load — дослівно «витяг, перетворення, завантаження») — один із основних процесів у керуванні сховищами даних, який включає в себе:

- вилучення даних із зовнішніх джерел;
- трансформація і очищення;
- завантаження в сховище даних.

Перше часткове перетворення даних відбувається в периферійному пристрої, друге — в шлюзі, третє — в Back End ETL, яке накопичує дані з усіх периферійних пристроїв і шлюзів та відповідає за операції збору інформації, приведення до стандартного вигляду, збереження для дальшого використання, керування життєвим циклом інформації, включаючи архівування та знищення.

Операції зберігання призначені для збереження, сортування і дальшого пошуку інформації. Залежно від типу останньої і варіантів її застосування використовують різні інструменти. Якщо дані не мають суворої схеми (колонок таблиці), то зберігаються в NoSQL-базах. Однак якщо вони можуть бути систематизовані, то використовуються SQL-типи баз даних [20].

Багаторівнева архітектура має низку недоліків: ускладнює передачу даних у хмару, складно інтегрувати пристрої, зроблені різними виробниками; є проблема накопичення даних на довгостроковій основі. Систем, що мають повний набір функцій, практично не існує. Складність системи IoT підкреслює ще й той факт, що жодна фірма-розробник не створює засоби для всіх рівнів. Є чітка спеціалізація: хмарні технології, засоби зв'язку, низові мережі.

Для того щоб скоротити відстань від кінцевої точки до хмари, Advantech побудував прямі хмарні зв'язки з давачами, аби дані можна було вивантажувати безпосередньо в Microsoft Azure. Кінцевим користувачам і системним інтеграторам потрібно тільки підключитися до інтернету й налаштувати свої системи для передачі даних у зазначені облікові записи Azure без необхідності писати додаткові програми [21].

### **Платформа інтернету речей**

IoT-платформа — це місток, який поєднує такі поняття, як «речі» й «інтернет». IoT-платформа є ключовим інструментом розробки IoT-додатків і сервісів, що об'єднує фізичні об'єкти (речі) і мережу (Інтернет)

Платформа IoT — це допоміжне програмне забезпечення, яке надає засоби для прийому, зберігання і попередньої обробки даних, а також хмарні засоби для розробки додатків, віддаленого підключення



чення з різних пристроїв, керування пристроями і даними, прийняття рішень та керування фізичними об'єктами, забезпечує аналітику й візуалізацію різних типів даних.

Хмарні засоби обчислення — це кілька сховищ у хмарі й хмарні обчислення, які складаються з кількох мереж: приватні, загальнодоступні й гібридні. Використовуються як послуга програмне забезпечення, платформа й інфраструктура [22].

Платформа забезпечує для користувачів роботу в реальному часі, автентифікацію і розширену безпеку. Завдяки їй розробка додатків стала простіше й дешевше для розробників і компаній. Тепер організація не створює великого програмного забезпечення, а користується послугами хмарних обчислень [23].

*Функції IoT-платформи:*

1) забезпечують інтеграцію різних засобів за допомогою спеціальних інтерфейсів, протоколів, зберігання, обробки та інтелектуального аналізу даних;

2) зводять різні формати даних в один інтерфейс, забезпечуючи точну передачу інформації і взаємодію з усіма кінцевими пристроями;

3) забезпечують безперебійну роботу кінцевих пристроїв (давачів, сенсорів, контролерів тощо) та оновлення ПЗ на них;

4) відповідають за надійне зберігання інформації в базах даних;

5) здійснюють моніторинг поточного та прогнозування майбутнього стану технологічного обладнання;

6) інтегрують, класифікують, аналізують дані в реальному часі із застосуванням методів машинного навчання;

7) візуалізують зібрану інформацію у вигляді таблиць, графіків, діаграм.

На ринку IoT представлена велика кількість IoT-платформ, а саме: Amazon Web Services, Microsoft Azure, ThingWorx IoT Platform, IBM's Watson, Cisco IoT Cloud Connect, Salesforce IoT Cloud, Oracle Integrated Cloud, GE Predix. Досить нова платформа Arduino IoT Cloud [24]. Вона дає можливість просто і швидко розробляти та розгортати додатки для різних пристроїв і локальних мереж IoT.

### **Узагальнена модель мережі IoT**

Узагальнюючи описані моделі й практичні реалізації мереж, слід зазначити, що всі мережі IoT мають три основні рівні — *хмара, мережа, периферія*, кожен з яких складається з підрівнів.

На основі розглянутих моделей і практичних мереж збудовано узагальнену модель мережі IoT. Центральним, зрозуміло, є рівень мережі «Інтернет», який пов'язує нижній рівень об'єкта керування (периферія) і верхні — збереження даних та користувача (хмара). Для мережі IoT доступні всі стандартні сервіси й ресурси інтернету.

Рівень збереження даних складається із серверів баз даних (БД), які здійснюють збереження і попередню обробку даних. Сервери можуть бути приватними, корпоративними або орендованими. До останнього зазвичай додаються засоби створення додатків й обробки даних. Ці орендовані засоби складають хмарну платформу, яка спрощує для користувача створення IoT-мережі [22].

Найвищий рівень — це рівень користувача. Тут працює користувач, який створює чи орендує сервери і розробляє додатки для обробки даних, що зберігаються на серверах попереднього рівня.

Рівень користувача — це рівень обробки і прийняття рішення. На ньому використовують як стандартні засоби обробки, так й оригінальні програми, пристосовані до вимог користувача.

Засоби нижнього рівня (об'єкта керування або локальні й корпоративні мережі) завжди оригінальні, налаштовані на відповідні об'єкти керування і вимоги користувача. Вони також залежать від способів зв'язку, що використовуються. Для цього рівня постійно розробляються нові методи й засоби функціонування. Вивчити їх усіх складно, тому розглянемо найбільш популярні загальні класи (рис. 2.5.7).

На рівні об'єкта керування розміщені локальні мережі, які обслуговують об'єкт керування, забезпечуючи його зв'язок з інтернетом. Тип і структура локальної мережі визначаються функціями, виробником і способом зв'язку. На рис. 2.5.8 зображено локальну мережу, яка побудована на базі радіомережі LP WAN. Це приклад мережі із сервером збереження й обробки даних на верхньому хмарному рівні [25–26]. На верхньому рівні серверів може бути більше. Давачі у цій структурі приєднуються до шлюзу або через свій модем (рис. 2.5.8, позначка 1) або через модем-концентратор (рис. 2.5.8, позначка 2). Протокол радіомережі охоплює усі рівні до LoRaWAN сервера. Обробка даних і керування здійснюється через сервер додатків.

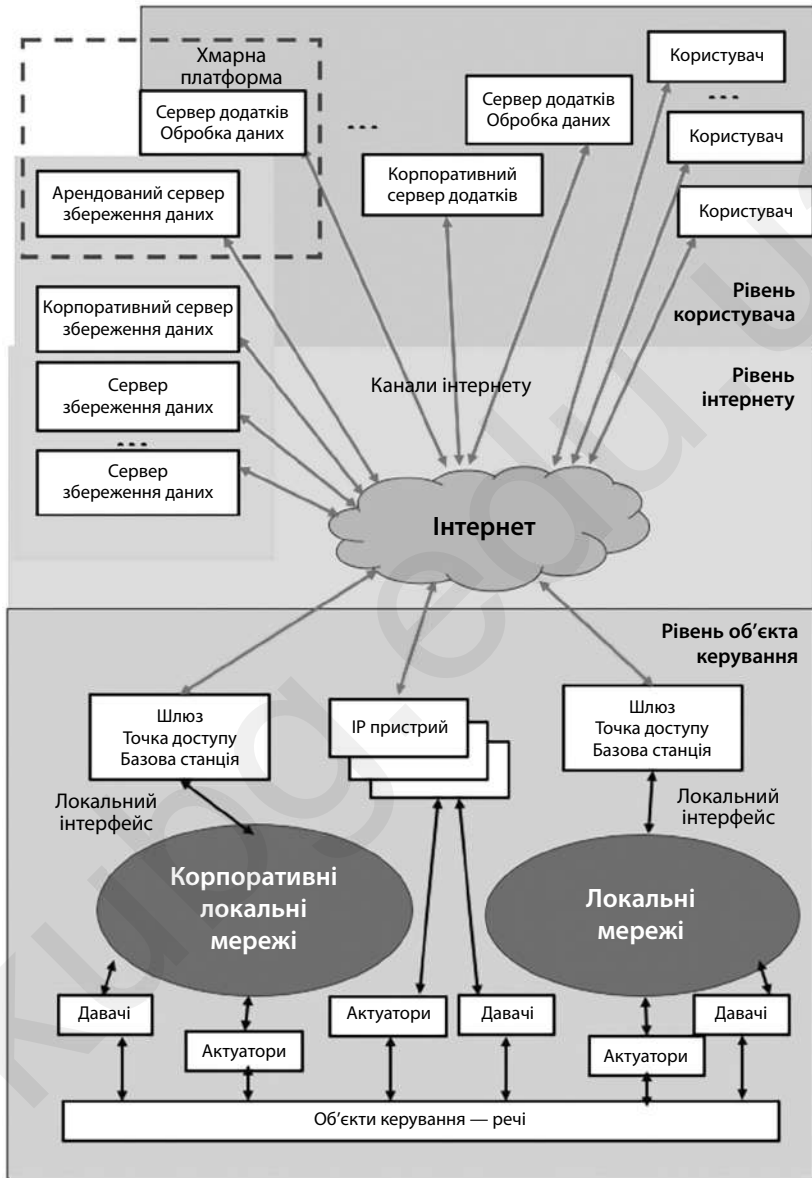


Рис. 2.5.7. Узагальнена модель мережі IoT

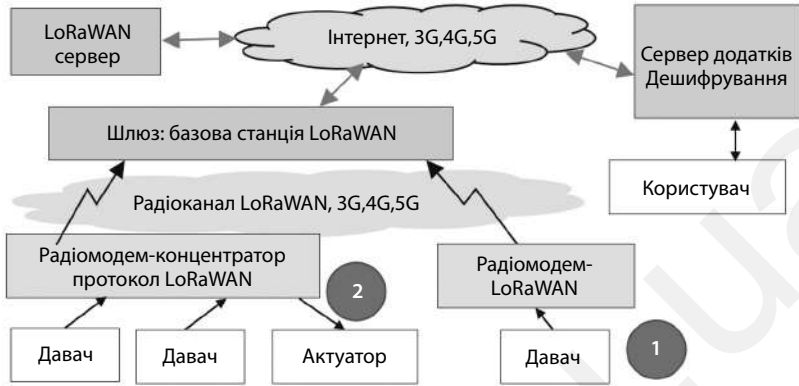


Рис. 2.5.8. Структура радіомережі (LoRa, NB-IoT) [26]

На схемі *рис. 2.5.9*, давачі теж приєднуються до шлюзу або безпосередньо (*рис. 2.5.9*, позначка 1), або через концентратор (*рис. 2.5.9*, позначка 2). У цій схемі інтелектуальні засоби наближені до давачів шляхом створення додаткового сервера для збереження й обробки (*рис. 2.5.9*, позначка 3). Це, як зазначалося, пришвидшує реакцію на події, розвантажує хмарний сервер і мережу «Інтернет».

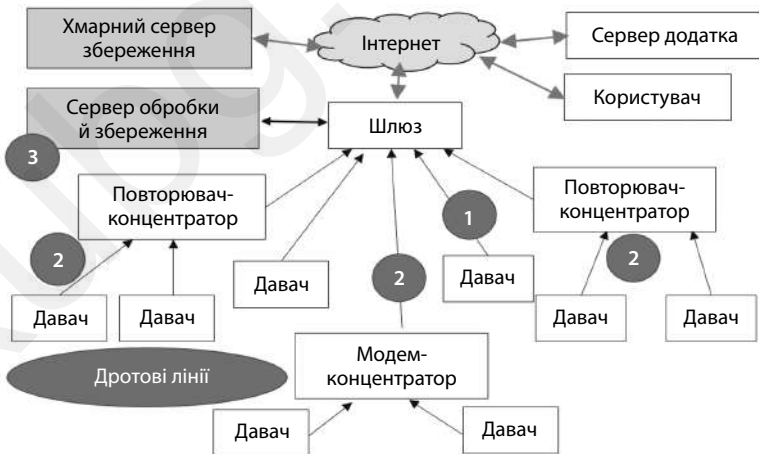


Рис. 2.5.9. Мережа з додатковим сервером для обробки й збереження (3) [12].

На *рис. 2.5.10* зображено мережу, у якій сервер для оперативної обробки даних розміщений безпосередньо біля давачів (*рис. 2.5.10*, позначка 1). Такі сервери виконані у вигляді вбудованих систем, що швидко обробляють інформацію, формують управлінське рішення і керують об'єктом. Їх можна назвати мікросerverами, тому що такі сервери зручно робити на вбудованих мікроконтролерах. Вони також зберігають локальні дані для БД з розповсюдженими даними.



*Рис. 2.5.10.* Переміщення засобів обробки в локальну мережу [12]

Підключення мільйонів пристроїв до інтернету створило умови, яких раніше не було. Технічно IPv6 має досить унікальні адреси для ідентифікації пристроїв, які будуть підключатися до мережі протягом тривалого часу. Але виникає проблема обробки даних, отримання значимої інформації і прийняття рішення на їх основі.

### **Промисловий інтернет речей**

Розвиток будь-якої науки визначається потребами й очікуваннями суспільства, які підживлюють інтерес винахідників. Зміна очікувань і розвиток нових ідей у часі демонструє крива Гартнера (Gartner Hype Cycle), зображений на *рис. 2.5.11* [27].



Рис. 2.5.11. Зміна очікувань від нових ідей у часі

Спочатку нові ідеї зустрічають з ентузіазмом, очікування швидко зростають, відповідно, фінансування поліпшується. Потім ми починаємо краще розуміти ці задуми, і через якийсь час доходимо висновку про те, що не всі з них спрацюють, не всі з них потрібні. І після досягнення максимуму очікувань спостерігається так звана «Долина смерті». Багато технологій тут загине. Тільки частина ідей, пройшовши «Долину смерті», дійде до реалізації, впровадження і виробництва [28].

Інтернет речей ще не злетів на вершину. Поки що він на рівні великих надій і швидкого зростання (рис. 2.5.11, точка А). Використовуються невеликі додатки, але повсюдного застосування ще немає. Одним із напрямів великих очікувань є застосування ІоТ у промисловості (ІоТ).

На виробництві ІоТ перетворився в промисловий інтернет речей Industrial Internet of Things (ІІоТ), також відомий як промисловий інтернет, або Індустрія 4.0. ІІоТ використовує технології міжмашинної взаємодії (М2М) у найрізноманітніших сферах — від віддаленого моніторингу та телеметрії до діагностичного техобслуговування [29]. Промисловий ІІоТ має свою особливість і специфічну архітектуру.

Мережа ІоТ, розроблена для виробничого майданчика, має враховувати складні й мінливі виробничі середовища. Ця галузь вимагає більш ретельного аналізу великих даних і безпеки [30].

На відміну від типової Big Data-системи, що працює за принципом клієнт-серверного додатка, модель IoT-рішення набагато складніша. Аналогічно до клієнт-серверного принципу в IoT-архітектурі можна виділити дві різних групи за фізичним розміщенням обов'язкових компонентів — периферія (Edge) і потужні Big Data-інструменти, розгорнуті в центрі обробки даних на серверах або в хмарі (Backend). Проте через особливості застосування IoT-рішень, пов'язаних з умовами експлуатації і специфіки (наприклад, екстремальні температури, вібрації, опади, велика протяжність каналів передачі даних тощо), у архітектурі промислового інтернету можна виділити цілих 12 рівнів [11]. IoT-системи є яскравими представниками систем Big Data.

Основні *властивості IoT-системи* такі:

1) безліч джерел даних — сенсорів, контролерів та інших периферійних (кінцевих) пристроїв, які мають високу швидкість реакції на події, мале енергоспоживання та обчислювальну потужність;

2) потоки даних з кінцевих пристроїв з високим рівнем перешкод через специфічні умови виробництва (екстремальні значення температури, вологості, електромагнітні обурення, вібрацію, візуальні й звукові шуми тощо);

3) використання хмарних технологій, які мають високу обчислювальну потужність для збору, автоматизованої обробки та інтелектуального аналізу даних, у т. ч. із застосуванням Machine Learning.

Як бачимо, периферійні пристрої генерують величезні масиви даних, які потрібно аналізувати і застосовувати в режимі реального часу. І тут на передній план висувається прогностна аналітика й аналіз великих даних. Також використовується машинне навчання, що дає можливість додати до даних контекст і запустити операції без втручання людини [12; 17; 31]. У *табл. 2.5.1* наведено порівняння традиційної аналітики й технології Big Data [12].

Кінцеві пристрої є джерелами даних з низькою обчислювальною потужністю, які безперервно передають на шлюз безліч інформації різного формату. Ці дані маркуються міткою часу і класифікуються (тегіруються) локальним процесором. Шлюз своєю чергою відправляє дані в хмарний кластер, де розгорнуто IoT-платформу на базі засобів Big Data для обробки й інтелектуального аналізу інформації.

Таблиця 2.5.1

ПОРІВНЯННЯ ТРАДИЦІЙНОЇ АНАЛІТИКИ  
Й ТЕХНОЛОГІЇ BIG DATA

Традиційна аналітика	Big Data аналітика
Поступовий аналіз невеликих пакетів даних	Обробка відразу всього масиву доступних даних
Редакція і сортування даних перед обробкою	Дані обробляються в їх початковому вигляді
Старт з гіпотези і її тестування щодо даних	Пошук кореляцій за всіма даними до отримання шуканої інформації
Дані збираються, обробляються, зберігаються і лише потім аналізуються	Аналіз й обробка великих даних у реальному часі у міру надходження

На хмарному сервері дані від різних периферійних пристроїв інтегруються (підсумовуються за тегами), систематизуються і аналізуються із застосуванням Machine Learning та інших методів штучного інтелекту. Результати аналізу даних подаються у вигляді графіків, діаграм тощо. Без хмарних обчислень великі дані не ефективні.

#### Використання вебтехнологій (WoT)

Консорціум World Wide Web (W3C) 9 квітня 2020 р. оголосив, що архітектура Web of Things (WoT) і Web of Things (WoT) Thing Description (TD) тепер є офіційними рекомендаціями W3C, що забезпечують просту інтеграцію з платформами і додатками інтернету речей [32].

Цей новий стандарт WoT робить крок уперед щодо вирішення фундаментальної проблеми, яка стримує комерційний успіх IoT — з'єднання різних систем і доменів. Він дає рішення, що дозволяють різним системам і доменам обмінюватися даними.

З поширенням технології IoT вебтехнологія почала виконувати нову роль — з'єднує різні речі з інтернетом. Це означає, що люди, речі та організації тепер можуть вільно обмінюватися інформацією та даними за допомогою вебтехнологій. Крім того, у міру поширення послуг 5G легко уявити, що поєднання технологій інтернету речей та вебтехнологій може бути дуже корисним.



Фактично сьогодні у світі існують різні протоколи для IoT-технологій, але, на жаль, функціональна сумісність інформації та обміну даними між людьми й речами, організацією і речами, речами й речами не реалізується. Вебтехнології поєднують людей, а в майбутньому будуть поєднувати речі. Тому технологія WoT може зіграти важливу роль у розвитку широкого спектра інтернет-послуг.

Відсутність стандартів сумісності й дуже фрагментована екосистема, повна пропріетарних інтерфейсів, стали серйозними перешкодами на шляху до впровадження технологій інтернету речей на підприємствах. Ця проблема посилюється широким спектром пропріетарних форматів даних та протоколів підключення, які використовує багато різних галузей. Це дуже ускладнює створення платформ IoT, які можна швидко розширити для широкого спектра сценаріїв використання.

Новий стандарт WoT дає можливість краще об'єднувати й аналізувати дані з різних систем і галузей дуже простим, але значущим чином. Гетерогенні й пропріетарні рішення OT та IoT раніше викликали значні проблеми з проектування та обслуговування (наприклад, для комплексного аналізу даних з різних пристроїв у будинку). Застосовуючи WoT можна швидко інтегрувати дані з різних пристроїв у пул даних і далі використовувати його для аналітики, проектування, перевірки, оптимізації енергоспоживання тощо [33].

### **Штучний інтелект**

Штучний інтелект (ШІ) у мережах IoT (Artificial Intelligence of Things) (AIoT) — це здатність приймати логічні й ефективні рішення обчислювальним пристроєм у структурі IoT. AIoT є невід'ємною частиною IoT. Галузь штучного інтелекту спирається на математику, інформатику, психологію, філософію, лінгвістику тощо [34]. Людське втручання зводиться до мінімуму або усувається зовсім. AIoT призначений для швидкої обробки великих даних, що накопичуються у хмарі.

Терміни «штучний інтелект» і «промисловий інтернет речей» багато хто вживає як синоніми, адже ці дві технології часто взаємодоповнюють функціонал одна одної. В AIoT комбінуються можливості AI та IoT збирати, зберігати, використовувати величезні масиви даних, що може стати справжньою цифровою революцією у всіх галузях людської діяльності.

Разом ці дві технології створюють інтелектуально пов'язані системи, в яких АІоТ виконує роль «мозку», а інтернет речей — «тіла». При цьому перша поступово децентралізується, а інтелектуальні засоби наближаються до об'єкта керування. До технологій АІоТ зараховують також машинне навчання (ML), обробку природної мови (NLP), розпізнавання голосу й осіб та глибоке навчання.

Зараз спостерігається тенденція зміщення інтелектуальних засобів до нижніх рівнів ієрархії систем. Там, де використовується ІоТ, можна вбудувати штучний інтелект, зокрема, у прикордонних обчисленнях, вбудованих системах, наборах мікросхем, програмному забезпеченні — він органічно вплітається в мережі ІоТ.

### **Туманні обчислення**

Туманні обчислення Fog — це розширення хмарних обчислень. Вони також відомі як прикордонні обчислення, які переміщуються на низові рівні. Це полегшує процес обміну даними між центрами обробки даних хмарних обчислень і кінцевими пристроями, мережевими службами та сховищем. Туманні обчислення роблять процес ІоТ більш простим і ефективним для обробки хмарних даних [35].

Хоча туманні й хмарні обчислення здаються на перший погляд однаковими, між ними існує велика різниця за затримкою, обсягом даних, реакцією, безпекою. У туманних обчисленнях обробка відбувається в концентраторі даних на інтелектуальному шлюзі, інтелектуальному маршрутизаторі або інтелектуальному пристрої. Туманний сервер виконує частину функцій хмарного сервера, тому туманні обчислення називають розширенням хмарних обчислень.

Fog-обчислення порівняно з хмарними мають такі переваги: мінімізація затримок; збереження пропускну здатності мережі; вирішення проблем безпеки; швидке прийняття рішення; зниження витрат на використання високої обчислювальної потужності; більш точний аналіз та інформування про місцеві умови [36].

Тепер хмарні обчислення зміщуються до граничних Edge AI, але останні не замінять хмару. Навпаки, вони працюють разом з хмарию. Big Data завжди функціонуватиме в хмарі. В Edge AI алгоритми штучного інтелекту працюють локально, без необхідності підключення до хмарних ресурсів.

чення до хмари або центрального сервера. AI використовує дані, які генеруються на пристрої, обробляє їх у режимі реального часу і видає результат за лічені секунди.

Так, відома платформа Apache Singa, яка використовується для розпізнавання природної мови і зображень, була розроблена на основі моделі глибокого навчання і використовує так звані методи асинхронного, синхронного або гібридного навчання. Microsoft CNTK популярний завдяки своїй функції розпізнавання мови. Він також широко використовується для машинного навчання. Microsoft CNTK підтримує широкий спектр алгоритмів, таких як RNN, LSTM, Sequence-to-Sequence, Feed Forward і CNN. Це одна з найбільш динамічних світових структур машинного навчання.

### **Бази даних в IoT**

Бази даних є невід'ємною частиною IoT. В інтернеті речей є типи даних, які потребують різного способу реагування, що впливає на спосіб їх збереження у БД.

Типи даних у системі IoT:

- 1) реального часу — вимагають відправки в зазначені інтервали часу;
- 2) оперативні — вимагають відправки в міру можливості.
- 3) довідкові — вимагають збереження, але не є необхідною умовою для керування об'єктом.

Всі ці розрізнені дані зберігаються в різних місцях як розподілені дані й досить слабо організовані на відміну від класичних БД. Однак у разі необхідності їх можна зібрати за певною ознакою й отримати сукупність даних, пов'язану з певними обставинами. Розподілені дані можна вважати певним типом баз даних.

У системі IoT існують три типи організації БД:

- 1) локальна (структурована);
- 2) розподілена (структурована);
- 3) БД з розподіленими даними (не структурована).

Розподілені дані зберігаються в різних місцях і не організовані в бази даних. За запитом вони збираються разом за певними ознаками (властивостями). Наприклад, кожен дани мають такі характеристики, як час виникнення, місце, обладнання, тип вимірюваного параметра. Зберігатися вони можуть у різних серверах або навіть у місці їх виникнення (туманні обчислення). За відпо-

відним запитом можна отримати зрізи даних для будь-яких умов й обставин.

Висновки. Сьогодні ринок IoT характеризується швидким розвитком і, як наслідок, незрілістю, яка проявляється в швидкій появі (іноді зникнення) нових гравців. Створюється безліч стандартів, моделей. При цьому єдиних стандартів не існує — кожна компанія створює свій власний стандарт, що стримує розвиток IoT. І поки що консолідації цих стандартів в один загальний не передбачається. Крос-платформенність поки відсутня, що підвищує ризики впровадження великомасштабних рішень.

Невід'ємною частиною мережі IoT крім комп'ютерних є технології промислового IIoT, хмарні й туманні обчислення великих даних з використанням штучного інтелекту AIoT, застосування вебтехнологій WoT, технології розподілених баз даних залежно від потрібної оперативності та глибини аналізу.

Швидкий розвиток туманних обчислень значно збільшує якість IoT: прискорення відгуку, облік місцевих умов, підвищення захисту, розподілене зберігання даних, знижує завантаження інтернету і хмарних серверів. Спостерігається тенденція до зростання глибини аналізу даних туманними серверами. Збільшується сфера використання мікропроцесорних вбудованих систем керування.

Технологія розвивається в бік створення Distributed Stream Computing Platforms (DSCP) у вигляді множини розподілених обчислювальних вузлів для обробки подій і збереження даних як специфічних типів Big Data. Цьому сприяє зростання потужності мікропроцесорів.

Засоби нижнього рівня об'єкта керування (локальні й корпоративні мережі) налаштовані на відповідні об'єкти керування, завжди оригінальні й постійно оновлюються. Розробляються нові нетрадиційні методи й засоби функціонування цього рівня. Виникає новий тип баз даних з розподіленими даними.

## ДЖЕРЕЛА

1. Сталлингс У. Интернет вещей: сетевая архитектура и архитектура безопасности. URL: <http://internetinside.ru/internet-veshhey-setevaya-arkhitektura-i/>

2. Global Company Information. Что такое Интернет вещей (IoT)? URL: <https://www.sap.com/cis/insights/internet-of-things.html>
3. Stallings W. The Internet of Things: Network and Security Architecture. *The Internet Protocol Journal*, 2015. Vol. 18, no. 4. P. 224. URL: <http://ipj.dreamhosters.com/wp-content/uploads/issues/2015/ipj18-4.pdf>
4. Bui N., Jardak C., Magerkurth C. Internet of Things Architecture. Elsevier: New York, NY, USA, 2013. 256 p.
5. Полонский С. Сенсорика для медицины и Умного дома. URL: <https://habr.com/ru/company/samsung/blog/531354/> (дата звернення: 04.12.2020).
6. Bradicich T. The 7 Principles of the Internet of Things (IoT). URL: <https://blog.iiconsortium.org/2015/07/the-7-principles-of-the-internet-of-things-iot.html> (дата звернення: 14.07.2015).
7. Hawlader. IoT Based Home Automation for the Smart Home — Top 20 Ideas. URL: <https://www.fossguru.com/iot-based-home-automation-for-the-smart-home/> (дата звернення: 01.01.2021).
8. МСЭ-Т Y.2060. Сектор стандартизації електросвязи МСЭ (06/2012). СЕРИЯ Y: Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений. Сети последующих поколений — Структура и функциональные модели архитектуры. Обзор интернета вещей. URL: <https://www.twirpx.com/file/2832237/> (дата звернення: 01.01.2021).
9. The IoT World Forum Architecture Committee. URL: <https://www.iotwf.com/>
10. Liu J., Chen M., Yang T., Wu J. IoT Hierarchical Topology Strategy and Intelligentize Evaluation System of Diesel Engine in Complexity Environment. *Sensors*. 2018, 18(7), 2224 p.
11. IoT архитектура. URL: <https://habr.com/ru/post/455377/> (дата звернення: 10.06.2019).
12. Вичугова А. Как интернет вещей использует Big Data: архитектура IoT-систем. URL: <https://www.bigdataschool.ru/blog/iot-architecture-big-data.html> (дата звернення: 06.08.2019).
13. SysLife. System development and architecture. URL: [https://www.sintef.no/projectweb/syslife\\_uk/system-development-and-architecture/](https://www.sintef.no/projectweb/syslife_uk/system-development-and-architecture/)
14. Delfmann W., Albers S. Supply Chain Management in the Global Context. Publisher: Working Paper, no. 102, Dept. of Business Policy & Logistics, University of Cologne, 2000. 85 p.
15. Обзор систем управления и решений для непрерывных процессов. URL: [https://www.eskovostok.ru/\\_docs/ProcessControl/proces-br002\\_-ru-p.pdf](https://www.eskovostok.ru/_docs/ProcessControl/proces-br002_-ru-p.pdf)
16. Hur Ch.-W., Ryu C.-S. A Monitoring System for Integrated Management of IoT-based Home Network. *International Journal of Electrical and Computer*

*Engineering*. 2016. Vol. 6, no. 1. P. 375–380.

17. Семёнов А. Технологии Big Data: как использовать большие данные в маркетинге. URL: <https://www.uplab.ru/blog/big-data-technologies/>

18. Saqlain M., Piao M., Shim Y., Lee J. Y. Framework of an IoT-based Industrial Data Management for Smart Manufacturing. *J. Sens. Actuator Netw.* 2019. No. 8, 25 p.

19. W. Derguech, E. Bruke and Curry E. An Autonomic Approach to Real-Time Predictive Analytics Using Open Data and Internet of Things, 2014 IEEE 11th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing, Bali, 2014. P. 204–211. DOI: 10.1109/UIC-ATC-ScalCom.2014.137.

20. Squillante R. Jr., Filhoa D. J. S., Silvab R. M. D., Souza J. A. L., Junqueira F., Miyagi P. E. A novel safety control hierarchical architecture for prevention and mitigation of critical faults in process industries based on defense-in-depth, reactive systems and safety-diagnosability. *IFAC Papers OnLine*. 2015. No. 48, P. 1326–1331.

21. Edge Device-to-Cloud Simplify IoT System: Making Data Available, Visible and Usable! URL: <https://www.advantech.co.kr/resources/news/smart-iot-sensing-devices-send-data-directly-from-to-microsoft-azure> (дата звернення: 23.08.2018).

22. Hawlader. Artificial Intelligence: How It's Transforming Into Cloud Computing? URL: <https://www.fossguru.com/artificial-intelligence-cloud-computing/>

23. Hawlader. IoT Platform: Best 30 IoT Platforms for Internet of Things Framework. URL: <https://www.fossguru.com/iot-platform-best-iot-platforms-for-internet-of-things-framework/>

24. Arduino IoT Cloud. URL: <https://www.arduino.cc/en/IoT/HomePage>

25. Верхулевский К. Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN. *Беспроводные технологии. Технологии и стандарты*. 2017. № 1. С. 12–18.

26. Использование инновационных технологий LoRaWAN и NB-IoT на примере счетчиков электроэнергии. URL: [https://pribory-si.ru/publication/detail.php?ELEMENT\\_ID=23484](https://pribory-si.ru/publication/detail.php?ELEMENT_ID=23484)

27. Gartner Hype Cycle. Interpreting technology hype. URL: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

28. Gartner's 7 Macro Factors That Will Shape the 2020s. URL: <https://www.tech2bit.com/gartners-7-macro-factors-that-will-shape-the-2020s/>

29. IIoT- the Industrial Internet of Things (IIoT) explained. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/industrial-internet-things-iiot/>

30. The Industrial Internet of Things and its Role in the Manufacturing Industry. URL: <https://www.lead-innovation.com/english-blog/industrial->

internet-of-things.

31. Big data. URL: <https://www.calltouch.ru/glossary/big-data/>

32. Web of Things at W3C. URL: <https://www.w3.org/WoT/>

33. Solution for IoT Interoperability — W3C Web of Things (WoT). URL: <https://www.w3.org/2020/04/pressrelease-wot-rec.html.en>

34. Lippett M. How the “Artificial Intelligence of Things” Will Change the World as We Know It. URL: <https://www.electronicdesign.com/technologies/iot/article/21122431/how-the-artificial-intelligence-of-things-will-change-the-world-as-we-know-it> (дата звернення: 06.02.2020).

35. Hawlader. Fog Computing Vs Cloud Computing: The Role in IoT. URL: <https://www.fossguru.com/fog-computing-vs-cloud-computing-iot/>

36. AIoT: роль искусственного интеллекта в Интернете вещей. URL: <https://iotji.io/ru/aiot-rol-iskusstvennoho-intellekta-v-internete-veshchej/>

## 2.6. АНАЛІЗ КОНТЕНТУ КАНАЛІВ YOUTUBE ЯК ЗАСОБІВ ВПЛИВУ НА СУСПІЛЬНЕ ЖИТТЯ

**Ірина Машкіна, Тетяна Носенко**

(Київський університет імені Бориса Грінченка)

Сучасне інформаційне суспільство характеризується підвищенням значення генерації, переробки та опрацювання інформації. Розвиток новітніх інформаційно-комунікаційних технологій і соціальних мереж зокрема впливає на економічний та інтелектуальний потенціал людини і держави. Засоби передачі інформації пройшли величезний шлях від першого друкарського станка до сучасних постів у різноманітних соціальних мережах, від першого друківаного малюнка до онлайн-трансляцій на сервісі YouTube. І кількість користувачів постійно зростає. Соціальні мережі впливають на різні грані світогляду, формування базових норм суспільного життя, соціалізацію та самоідентифікацію людини [1], їх можна досліджувати як фактори впливу на психологію, філософію, політику й інші елементи існування та розвитку суспільства (рис. 2.6.1).



Рис. 2.6.1. Вплив соціальних мереж на різні грані суспільного життя



Чи сприяє політика каналів тому, щоб користувачі культурно розвивались і ставали більш обізнаними, суспільно грамотними, могли вільно висловлювати свої думки та ідеї, не наражаючись на неприйнятну реакцію інших, тощо? На основі ретельного вивчення вітчизняних та зарубіжних публікацій, сучасних трендів за даними Google Trends і даних сервісів аналітики соціальних мереж у вибраному та суміжних наукових напрямках, використовуючи загальнонаукові методи дослідження, автори дослідили вплив соціальних мереж та створеного ними віртуального світу на формування морально-світоглядних і духовних якостей людини.

У ході дослідження було розглянуто:

- найпопулярніші запити на YouTube за останні декілька років;
- найпопулярніші теми;
- тематику найпопулярніших влогерів та їхніх сюжетів;
- найпопулярніші відео на відеохостингу YouTube;
- представлені на YouTube-каналі найпопулярніші музеї світу;
- політику YouTube щодо поширення контенту та популяризації світової культурно-історичної спадщини.

Відеохостинг YouTube є лідером серед соціальних мереж останні 10 років. Аудиторія YouTube — понад 2 млрд осіб, серед них глядачів віком від 18 до 34 років — понад 70 %. Сайт YouTube доступний 80 мовами, у тому числі й українською, а також має локальні версії у понад 100 країнах світу. Отже, дослідження каналів відеохостингу YouTube з метою аналізу популяризації культурно-мистецької та історичної світової спадщини видається актуальним.

Відеохостинг YouTube створили Чад Герлі, Стівен Чені та Джавед Карім у 2005 р. Він надає послуги з розміщення відеоматеріалів, онлайн-трансляцій, а також є майданчиком для спілкування. Сервіс входить у трійку сайтів, що найчастіше відвідуються. Користувачі можуть переглядати відео, а зареєстровані — коментувати, додавати, редагувати та вилучати відео, створювати власні спільноти. Є можливість проводити онлайн-трансляції, які можна зберігати або видаляти на власному каналі. Під час трансляцій глядачі можуть спілкуватися.

Окрім офіційного сайту YouTube має офіційний блог, мобільну версію, якою користується понад 70 % користувачів, а також дає можливість скачувати в AppStore та PlayMarket. Наразі відеохостинг є підрозділом корпорації Google.

Станом на 2019 р. на YouTube завантажували щохвилини близько 300 годин відео, а кількість щоденних переглядів досягала 1 млрд [2].

За даними Google Trends та [3], найбільшу кількість переглядів набирають відео на таку тематику: влоги, lifestyle, розпакування, огляд товарів, мандри, кулінарія, новини, освіта, комп'ютерні технології, музика, гумор, тварини (рис. 2.6.2).



Рис. 2.6.2. Найпопулярніші теми на YouTube за даними Google Trends

Найпопулярніші запити на відеохостингу YouTube за останні кілька років представлені на рис. 2.6.3. Користувачі в основному цікавляться популярними артистами, серіалами та художніми фільмами, основними політичними подіями й політичними діячами.

Відеохостинг співпрацює з популярними блогерами на партнерських засадах. За умов набору понад 1000 підписників, 4000 годин переглядів на рік та дотримання авторських прав YouTube монетизує працю влогерів. За даними [4], найбільш високооплачувані влогери YouTube знімають відео про комп'ютерні ігри, описують враження від проходження гри, знімають ролики зі спортивними трюками, описують своє дозвілля у веселому стилі, створюють музичні кліпи, пародійні ролики, транслюють власні мотиваційні відеощоденники тощо (табл. 2.6.1). Очевидно, що ці відео створені на високому професійному рівні та викликають емоції, тому й кількість переглядів перевищує 3 млрд, а підписників — 15 млн за рік. Це свідчить про кропітку роботу авторів, які віднайшли теми, близькі глядачам.

Рис. 2.6.3. Найпопулярніші запити на хостингу YouTube за останні кілька років



Таблиця 2.6.1

### НАЙБІЛЬШ ПОПУЛЯРНІ ВЛОГЕРИ ТА ТЕМАТИКА ЇХНІХ СЮЖЕТІВ

Даніель Міддлтон (Daniel Middleton)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Професійний геймер з Британії; створює щоденні летсплеї з гри для дітей</li> <li>• Кількість переглядів — 17 220 648 681</li> <li>• Кількість передплатників — 23,7 млн осіб</li> </ul>
Еван Фонг (Evan Fong)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Канадієць; записує смішні відео про популярні комп'ютерні ігри</li> <li>• Кількість переглядів — 12 990 269 952</li> <li>• Кількість передплатників — 25,2 млн осіб</li> </ul>
«Класні чуваки» (Dude Perfect)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• П'ять молодих людей із США; записують екстремальні спортивні трюки</li> <li>• Кількість переглядів — 11 629 374 041</li> <li>• Кількість передплатників — 53,5 млн осіб</li> </ul>
Маркіплаєр (Markiplier)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Марк Фішбах, США; створює проходження відеоігор у жанрах «інді» і «хорор»</li> <li>• Кількість переглядів — 14 024 272 677</li> <li>• Кількість передплатників — 26,9 млн осіб</li> </ul>
Логан Пол (Logan Paul)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шоумен, США; створює щоденні веселі відео про своє дозвілля</li> <li>• Кількість переглядів — 5 695 600 039</li> <li>• Кількість передплатників — 22,4 млн осіб</li> </ul>
ПьюДіПай (PewDiePie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Фелікс Арвід Ульф Чельберг, Швеція; робить відеоогляди комп'ютерних ігор у жанрі «хорор» і «екшн»</li> <li>• Кількість переглядів — 26 043 571 989</li> <li>• Кількість передплатників — 107 млн осіб</li> </ul>

До найпопулярніших відео, які набрали найбільше переглядів у 2020 р. [4], входять музичні кліпи, мультиплікаційні фільми для дітей (табл. 2.6.2 та рис. 2.6.4). У «фінал» виходять також навчальні(!) мультиплікаційні фільми для наймолодших. Ця подія не може не порадувати, оскільки освітні ресурси чи канали в рейтингах найкращих за кількістю переглядів представлені мало.

Таблиця 2.6.2

НАЙПОПУЛЯРНІШІ ВІДЕО (МОВОЮ ОРИГІНАЛУ)  
НА СЕРВІСІ YOUTUBE СТАНОМ НА 24.09.2020 р.  
ТА ДАТА ЗАВАНТАЖЕННЯ

Назва	Переглядів (на 24.09.2020)	Дата завантаження	Примітки
Despacito	6 977 946 898	13.01.17	–
Baby Shark Dance	6 641 154 229	17.06.16	–
Shape of You	4 988 705 976	30.01.2017	
See You Again	4 734 502 452	06.04.15	–
Маша и Медведь: Маша плюс каша (17 серія) (мовою оригіналу)	4 336 683 345	31.01.2012	–
Uptown Funk	3 953 433 698	19.11.2014	–
Johny Johny Yes Papa	3 896 376 866	08.10.2016	Навчальний мультфільм для наймолодших
Gangnam Style	3 596 527 241	15.07.2012	
Учим цвета — разноцветные яйца на ферме (мовою оригіналу)	3 645 931 273	26.02.2018	Навчальний мультфільм для наймолодших
Sorry	3 282 129 293	22.10.2015	–

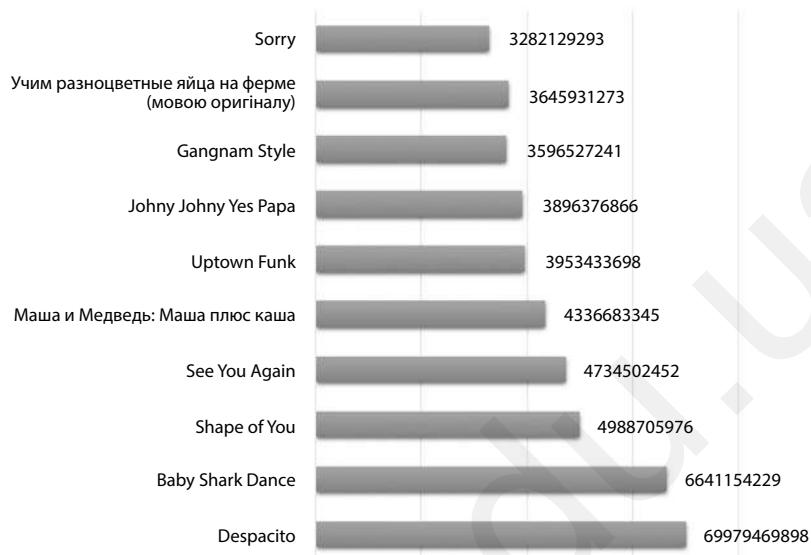


Рис. 2.6.4. Найпопулярніші відео на сервісі YouTube станом на 24.09.2020

До ресурсів, що популяризують світову історико-культурну спадщину, належать музеї. Їх функції та засоби цифрових технологій, за допомогою яких можна реалізувати ці функції, наведено в *табл. 2.6.3*.

Очевидно, що всі види інформаційних технологій сприяють популяризації світової культурної спадщини, а також працюють на задоволення потреби людини в освіті, самореалізації, самоідентифікації.

Як видно з *табл. 2.6.1–2.6.2*, ресурси музеїв не входять до рейтингів за кількістю переглядів чи підписників, хоча і представлені у соціальних мережах [6]. Проте вони активно розвивають свою діяльність у соціальних мережах, у тому числі й у YouTube, намагаючись донести історію, мистецтво, фольклор до сердець і душ користувачів всіма доступними засобами (*табл. 2.6.4 та рис. 2.6.5*).

Таблиця 2.6.3

**ФУНКЦІЇ МУЗЕЇВ ТА ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ,  
ЗА ДОПОМОГОЮ ЯКИХ ЇХ МОЖНА РЕАЛІЗУВАТИ**

Тип функції музею	Опис функції	Реалізація функції за допомогою цифрових технологій
<b>Зберігальна</b>	Збереження культурно-історичної спадщини	Перенесення у цифровий формат
<b>Інформаційна</b>	Передача й отримання знань через матеріальні речі	Збереження, опрацювання передача інформації у цифровому форматі
<b>Транслявальна</b>	Отримання соціального досвіду	Опрацювання матеріалів у цифровому форматі
<b>Інтегровальна</b>	Сприяє соціальній згуртованості та відповідальності	Опрацювання інформації у цифровому форматі, соціальні мережі, спільноти
<b>Комунікативна</b>	Передбачає взаємодію між індивідами та спілкування	Соціальні мережі, спільноти
<b>Функція відтворення</b>	Забезпечує стійкість суспільства	Створення, опрацювання та збереження інформації, соціальні мережі, спільноти
<b>Культурна ідентифікація</b>	Формування усвідомлення приналежності до певної культури	Створення, опрацювання та збереження інформації, соціальні мережі, спільноти
<b>Організація дозвілля</b>	Забезпечення цікавого дозвілля	Створення, опрацювання та збереження інформації, соціальні мережі, спільноти
<b>Культурно-освітня</b>	Формування розуміння історії та естетичне виховання	Створення, опрацювання та збереження інформації, соціальні мережі, спільноти

Таблиця 2.6.4

ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАЙПОПУЛЯРНІШИХ МУЗЕЇВ СВІТУ  
НА ВІДЕОХОСТИНГУ YOUTUBE

Музей	Короткий опис YouTube-каналу	Кількість підписників	Кількість відео	Дата створення	Кількість переглядів
Лувр	Презентації найбільших виставок, конференції в залах Лувру, пригоди влогерів у кімнатах музею, архіви музею тощо	66 тис.	653	3 бер. 2006 р.	6 750 126
Британський музей	Інтерв'ю з експертами, прямі записи подій та бесід, останні виставки, експозиції, наукові конференції	378 тис.	466	21 серп. 2006 р.	37 593 297
Лондонська національна галерея	Інтерв'ю з провідними мистецькими експертами, прямі записи подій та бесід, останні виставки, експозиції	111 тис.	464	4 лют. 2008 р.	9 533 386
Музеї Ватикану	Зібрана історія римських пап протягом п'яти віків	–	121	10 груд. 2015 р.	835 130
Тейт Модерн	Відеоролики про мистецтво та художників зі всього світу	250 тис.	1588	27 жовт. 2005 р.	29 729 366
Музей імператорського палацу	Посідані мистецтво і технології з метою зробити скарби культурної спадщини більш доступними для людей у всьому світі	22,6 тис.	323	28 лист. 2012 р.	4 415 215
Національна галерея мистецтв (Вашингтон)	Сприяння розумінню творів мистецтва за найвищими мистецькими та науковими стандартами	24,7 тис.	688	5 квіт. 2012 р.	2 597 327
Національний музей Кореї (Сеул)	Органічно поєднані історія, мистецтво та сучасні технології	–	614	15 січ. 2013 р.	1 148 530
Музей Орсе (Париж)	Віртуальні тури, концерти у виставкових залах, приклади реставрації творів мистецтва, мультиплікація для наймолодших тощо	25,9 тис.	595	30 лист. 2011 р.	6 461 680
Національний фольклорний музей Кореї (Сеул)	Тури експозиціями, концерти, казки в мультиках у рамках мультикультурної програми дитячого музею тощо	1,23 тис.	203	21 черв. 2013 р.	226 257

### Кількість підписників та відео на каналах найпопулярніших музеїв світу

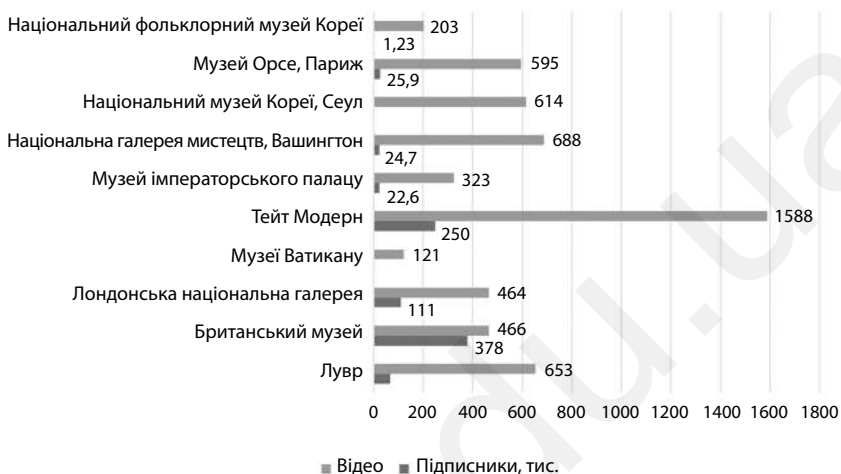


Рис. 2.6.5. Кількість підписників та відео найпопулярніших музеїв світу станом на грудень 2020 р.

Співробітники музеїв оцифровують та конвертують у 2D і 3D експонати, створюють відео, у яких ознайомлюють користувачів зі специфікою музейного зберігання, відкривають доступ до спеціалізованих приміщень, рідкісних експонатів, дають можливість спостерігати за діяльністю музейних хранителів.

Тематика відео на YouTube різноманітна і багатогранна, а саме:

- презентації нових експозицій;
- інтерв'ю з провідними експертами;
- лекції науковців;
- віртуальні тури виставковими залами;
- мультиплекційні відео для наймолодших та школярів на різноманітну тематику;
- концерти у виставкових залах, що органічно поєднують всі види аудіовізуального мистецтва;
- сюжети з прикладами реставрації творів мистецтва;
- трансляції фольклорних концертів;



- поєднання мистецтва і новітніх технологій з метою наближення культурної спадщини до людей у всьому світі;
- записи подій;
- онлайн-трансляції культурних заходів;
- трансляції наукових конференцій із залів музеїв;
- різноманітні програми підтримки влогерів, що висвітлюють музейну тематику, тощо.

Кількість відеосюжетів на каналах музеїв та число переглядів постійно збільшується, тематика плейлистів урізноманітнюється. Співробітники музеїв активно підтримують спільноту каналу, використовуючи опитування та інші засоби (презентації сюжетів, фото, анонси подій тощо) [6]. Аналіз коментарів до відеосюжетів стає джерелом ідей для просування музеїв у цифровому світі та їх наближення до людей. З коментарів співробітники музеїв черпають ідеї для сюжетів, які будуть цікаві відвідувачам. Активно працюючи з аудиторією через спільноту, можна віднайти теми, які будуть цікаві відвідувачам, та відповісти на переважну більшість актуальних запитань.

На жаль, канали провідних музеїв світу програють за кількістю передплатників та переглядів найвідомішим блогерам. Сюжетів з каналів музеїв немає і в трендах.

Чи сприяє політика відеохостингу YouTube просуванню та популяризації світової культурної спадщини, чи створені умови, що задовольняють потреби користувача у реалізації творчих та культурних запитів? До принципів, що підтримують таку політику слід зарахувати [5] (рис. 2.6.6):

- створення атмосфери взаємоповаги у спільноті користувачів;
- захист користувачів;
- відсутність дискримінації за різними ознаками;
- коректність збору і використання даних;
- турбота про дитячу аудиторію;
- відсутність контенту, що породжує ненависть і нетерпимість;
- боротьба з фальшивою інформацією;
- відповідальність кожного учасника спільноти сервісу за порушення правил.



Рис. 2.6.6. Принципи медійної відповідальності

Відеохостинг YouTube підтримує некомерційні організації, для яких важливі зв'язки з донорами, волонтерами, спонсорами. Для них YouTube надає доступ до нових функцій і ресурсів, а саме: просування сайтів, присвячених некомерційній діяльності, освітні ресурси, можливість знімати відео у студіях YouTube (у Європі — це Берлін, Лондон, Париж), спеціалізована служба підтримки.

Правила каналу захищають користувачів від шкідливого вмісту, переслідування та спаму і розповсюджуються на всі види контенту, коментарі, посилання, ескізи. Сповідуючи справедливість та об'єктивність, відеохостинг YouTube не допускає дії, які штучно збільшують кількість переглядів, оцінок, коментарів тощо, включаючи використання автоматизованих систем.

Відео, в якому особа видає себе за іншу чи інший канал, буде заблоковано. Канал YouTube захищає також права власників торговельних марок.

YouTube видалить відео або заблокує канал, якщо в ньому присутні [5]:

- посилання на порнографію;
- посилання на вебсайти або програми, які встановлюють шкідливе програмне забезпечення;
- посилання на вебсайти або додатки, які здійснюють фішинг для входу користувачів, фінансової інформації тощо;

— посилання на вебсайти, додатки чи інші інформаційні технології, що надають несанкціонований безкоштовний доступ до аудіовмісту, аудіовізуального вмісту, повноцінних відеоігор, програмного забезпечення або потокових служб, які зазвичай вимагають оплати;

— посилання на вебсайти, які прагнуть залучити кошти або звербувати терористичні організації;

— посилання на сайти, що містять зображення сексуального насильства над дітьми.

Відеохостинг YouTube піклується про безпеку глядачів, авторів і партнерів. Заборонені заклики до насильства чи ворожості щодо осіб за ознаками віку, касты, інвалідності, етнічної чи расової приналежності, національності, гендерної ідентичності, іміграційного статусу, релігії, сексуальної орієнтації, статусу жертви трагедії чи родича постраждалого, статусу ветерана.

Сервіс YouTube може вилучити контент, якщо автор закликає глядачів до насилля, дискримінації чи образ, принижує людину, погрожує фізичною розправою за політичні чи соціальні вподобання, заради фінансової вигоди створює контент, який провокує ворожечу між авторами.

Сервіс YouTube піклується про конфіденційність, приватне життя і безпеку. Уповноважені особи розглянуть скаргу, якщо однозначно можна буде ідентифікувати особу через зображення чи голос, повне ім'я, контактну чи іншу особисту інформацію.

Заборонено публікувати контент, який може зашкодити емоційному чи фізичному здоров'ю дітей (у більшості країн до 18 років). Це може бути:

— представлення неповнолітніх у сексуальному контексті;

— зображення шкідливих або небезпечних дій за участі неповнолітніх;

— сцени, що можуть викликати емоційне потрясіння;

— відео, які начебто підходять для сімейного перегляду;

— образи або приниження в Інтернеті щодо неповнолітніх тощо.

YouTube не публікує відео, які можуть спонукати глядачів до небезпечних або протизаконних дій, зашкодити здоров'ю або життю. Це можуть бути сюжети з жорстокими розіграшами, інструкції, як заподіяти шкоду іншим, відео про виготовлення

та використання наркотичних речовин, інструкції щодо крадіжок тощо.

YouTube видалить відео, якщо воно містить насилля і жорстокість, що можуть шокувати людину, а також відео з натуралістичними зображеннями шокуючого характеру.

Розуміючи велику відповідальність, YouTube дає поради стосовно створення контенту за участі неповнолітніх та щодо забезпечення їхньої безпеки, розробляє правила щодо оголеної натури тощо.

Значну увагу відеохостинг YouTube приділяє захисту авторського права: передбачені протоколи дій, якщо автори отримали попередження про порушення авторських прав, як оскаржити претензію ContentID. Захищаючи авторські права, YouTube монетизує авторські відео у вигляді гонорарів. Так, за останні 5 років канал виплатив понад 2 млрд доларів США партнерам, які подали заявки через ContentID. З часу запуску системи ContentID партнери YouTube заявили права на понад 800 млн відео, а база даних ContentID містить понад 75 млн активних файлів цифрових відбитків і є однією з найповніших у світі.

Отже, у ході дослідження було з'ясовано, що політика каналу YouTube спрямована на те, аби зробити суспільство більш обізнаним і сильнішим, щоб користувачі могли вільно висловлювати свої думки та ідеї, навіть якщо хтось не погоджується з ними. Потреби людини в особистому розвитку стають більш різноманітними. Політика YouTube сприяє поширенню і популяризації світової культурно-історичної спадщини, розвитку інтересу до освіти й науки загалом, самовираженню та самоідентифікації особистості, захищає авторські права та підтримує некомерційні організації. Через спільноту YouTube формує комунікаційне середовище, що надає додаткові можливості для розширення тематики музейного контенту, популяризації та просування історико-культурної спадщини суспільства.

Музеї використовують можливості відеохостингу YouTube для демонстрації того, що експозиції, експонати і знання, якими вони володіють, є актуальними, цікавими і корисними.

## ДЖЕРЕЛА

1. «Новые медиа» и СМИ: сравнение возможности влияния на индивидуальное и общественное сознание (на примере канала видеохостинга YouTube «Анатолий Шарий»). URL: <http://bit.ly/38BookN> (дата звернення: 27.12.2020).
2. YouTube for press. URL: <https://www.youtube.com/intl/uk/about/press/> (дата звернення: 27.12.2020).
3. Какие темы на YouTube быстро набирают много просмотров. URL: <https://blog.webartex.ru/kakie-temy-na-youtube-bystro-nabirayut-mnogo-prosmotrov/> (дата звернення: 27.12.2020).
4. Топ-10 найбільш високооплачуваних YouTube-блогерів. URL: <https://socialblade.com/youtube/top/100> (дата звернення: 27.12.2020).
5. Політика YouTube. URL: <http://bit.ly/2WKJx6N> (дата звернення: 27.12.2020).
6. Сударикова Е.В. Взаимодействие посетителя и музея с помощью YouTube-канала. URL: <http://bit.ly/3oVw084> (дата звернення: 27.12.2020).

## 2.7. РЕКУРСИВНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ АТОМНО-СИЛОВОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

**Оксана Литвин**

*(Київський університет імені Бориса Грінченка)*

**Петро Литвин**

*(Інститут фізики напівпровідників  
імені В.Є. Лашкарьова НАН України)*

З огляду на розвиток сучасних цифрових технологій, зростання потужності комп'ютерних систем, розвиток хмарних сервісів та формування гігантських баз даних цілком закономірним є залучення інтелектуальних інформаційних систем до аналізу й використання великих масивів даних [1].

Зокрема, реалізація нових принципів та технологій обробки інформації, накопичення і збереження знань, їх доступність широкому загалу у вигляді хмарних сервісів відкривають нові перспективи в наукових дослідженнях та наукоємних виробництвах у контексті інтерпретації даних спостережень, класифікації властивостей матеріалів і систем, теоретичних підходів та моделювання в технологіях. Особливо перспективним для технологічних розробок у біоінженерії, медицині, астрономії та інших сферах є використання штучних нейронних мереж [2–5].

Штучні нейронні мережі — сучасна інтелектуальна технологія, яка знаходить своє застосування в різних галузях науки: моделюванні, розпізнаванні образів, обробці сигналів, апроксимації функцій тощо. Її використання для розв'язування складних (масштабних) завдань зумовлюється важливими властивостями, а саме здатністю до навчання та узагальнення, тобто здатністю отримувати обґрунтований результат на основі даних, які не траплялися в процесі навчання, а також розпаралелювання процесу обчислень. У статті представлено застосування нейромереж для аналізу даних атомно-силової спектроскопії на прикладі дослідження наномеханічних властивостей біоматеріалів.

Атомно-силовий мікроскоп (АСМ) широко використовується для вимірювання властивостей механічних зразків на нанорівні. Для цього реєструються силові криві взаємодії чутливого зонду на гнучкій консолі із поверхнею досліджуваного зразка. Дальший аналіз особливостей кривих атомно-силової спектроскопії дає можливість отримати широкий спектр даних про наномеханічні, адгезійні, сорбційні, енергетичні та ін. характеристики досліджуваних об'єктів на молекулярному та атомарному рівнях, що недоступно іншим методам діагностики. Наприклад, серії значень локальних модулів пружності тонких плівок, ригідності клітинних стінок, енергії адгезії до поверхні, молекулярних сил денатурації ДНК, меж та параметрів руйнування матеріалів. Сканування зразка забезпечує отримання даних на деякій площі його поверхні (локальні значення) та карти механічних характеристик. Застосування методів наноіндентування, реалізованих на базі атомно-силової мікроскопії і, зокрема, методу силової спектроскопії, відкриває унікальні можливості для дослідження локальних механічних властивостей відносно м'яких матеріалів, у тому числі 2D матеріалів і біологічних об'єктів.

Однак взаємозв'язки між механічною реакцією, морфологією та функціональною поведінкою діагностичної системи є досить складними і їх важко інтерпретувати однозначно. Тому існує значний розрив між застосуванням методів атомно-силової мікроскопії і спектроскопії в академічних, фундаментальних дослідженнях та їх впровадженням, наприклад у контролі технологічних процесів на виробництві й клінічній біомедичній діагностиці. Якщо ж ще взяти до уваги розмаїття фізичних процесів у контакті зонд — поверхня, які мають місце в специфічних матеріалах та біологічних об'єктах, а також обсяги інформації, яку потрібно аналізувати, то навіть для підготовленого фахівця обробка експериментальних даних атомно-силової спектроскопії стає надзвичайно складним завданням. Саме використання алгоритмів штучних нейронних мереж дасть змогу суттєво спростити та автоматизувати аналіз великих масивів даних.

### **Теорія штучних нейронних мереж**

**Модель штучного нейрона.** Нейрон — обчислювальна одиниця, яка отримує інформацію (input data), виконує над нею прості обчислення і передає її далі (output data). Штучний нейрон імітує в першому наближенні властивості біологічного нейрона.

На рис. 2.7.1 наведена модель формального нейрона за [6]. Саме ця праця вважається першою роботою, яка заклала теоретичний фундамент для створення штучних моделей нейронів і нейронних мереж.

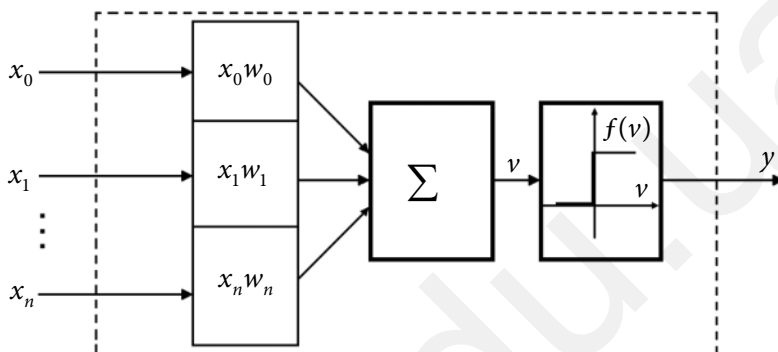


Рис. 2.7.1. Функціональна схема формального нейрона

З сучасної точки зору формальний нейрон — це математична модель простого процесора, що має кілька входів й один вихід. На вхід нейрона через дендрити надходить деяка множина сигналів, кожен з яких є виходом іншого нейрона. Вектор вхідних сигналів  $X(x_0, x_1, \dots, x_n)$  перетворюється нейроном у вихідний сигнал  $y$  (що поширюється аксоном, передається через синапс — контакт з дендритом іншого нейрона) з використанням трьох функціональних блоків: локальної пам'яті, блоку підсумовування і блоку нелінійного перетворення.

Вектор локальної пам'яті містить інформацію про вагові коефіцієнти  $W(w_0, w_1, \dots, w_n)$ , з якими вхідні сигнали будуть інтерпретуватися нейроном. Ці змінні ваги є аналогом чутливості пластичних синаптичних контактів. Вибором ваг досягається та чи та інтегральна функція нейрона: чим більший ваговий коефіцієнт, тим більший внесок цей сигнал здійснюватиме. Ваги можуть змінюватися в процесі навчання мережі (див. далі) відповідно до топології мережі та навчальних правил.

У блоці підсумовування відбувається накопичення загального вхідного сигналу, що дорівнює зваженій сумі входів  $v$ .



У різних програмних реалізаціях функція суматора може бути складнішою, наприклад вибір мінімуму, максимуму, середнього арифметичного, добутку тощо. Тобто перед надходженням до блоку перетворення (т. зв. функції активації / збудження нейрона) вхідні сигнали та вагові коефіцієнти можуть комбінуватися багатьма способами. Алгоритми для комбінування входів нейронів визначають відповідно до мережної архітектури. Сюди також може бути включений пороговий елемент  $b$  (bias), який відображає збільшення або зменшення вхідного сигналу, що передається на функцію активації  $f$ . Тоді функціонування нейрона можна описати парою рівнянь:

$$v = \sum_{i=0}^n w_i x_i$$
$$y = f(v + b).$$

Функція активації, або передавальна (activation function, excitation function, squashing function, transfer function), штучного нейрона може бути різною. Здебільшого це сигмоїда, яка відображає дійсні числа на інтервал  $(-1,1)$  (гіперболічний тангенс) або  $(0,1)$  (логістична функція).

**Архітектура нейронних мереж.** Штучна нейронна мережа (ШНМ, або artificial neural network (ANN)) — математична модель та її апаратно-програмна реалізація біологічних нейронних мереж живого організму.

Можна виділити шість основних завдань, які можуть розв'язувати нейронні мережі [7]:

- 1) асоціативна пам'ять — у мережі запам'ятовуються образи, які вона потім відтворює за неповними або зашумленими описами;
- 2) розпізнавання образів — процес, у якому отримуваний образ / сигнал має бути віднесений до якогось означеного класу;
- 3) керування процесом або системою;
- 4) фільтрація — процес видалення корисної інформації із набору зашумлених даних;
- 5) формування діаграми направленості — просторовий випадок фільтрації;
- 6) апроксимація функцій.

Спосіб зв'язку нейронів у нейромережі та типи нейронів визначають її архітектуру. Серед відомих архітектурних рішень виділяють слабозв'язані мережі, коли кожен нейрон мережі зв'язаний лише із сусідніми, та повнозв'язані, коли входи кожного нейрона зв'язані з виходами решти нейронів. Найпоширенішою архітектурою є мережі з пошаровою структурою: нейрони певним чином об'єднуються в шари. У кожній нейромережі існує один вхідний шар, хоча б один прихований та один вихідний шар. Шар вхідних нейронів отримує дані ззовні. Вихідний шар пересилає інформацію до зовнішнього середовища, до вторинного комп'ютерного процесу або інших пристроїв. Між цими двома шарами може бути багато прихованих шарів, які містять безліч нейронів у різноманітних зв'язаних структурах. Входи та виходи кожного з прихованих нейронів сполучені з іншими нейронами.

Першою моделлю нейромереж вважається перцептрон Розенблатта — мережа з одним прихованим шаром [8–9]. Теорія перцептронів є основою для багатьох типів штучних нейромереж.

Елементарний перцептрон (рис. 2.7.2) складається з елементів трьох типів: S-елемент — сенсор або рецептор (input), A-елемент — асоціативний ( $f(x)$ ), R-елемент — реагуючий (output). Нейрони прихованого шару A обчислюють зважену суму елементів вхідного

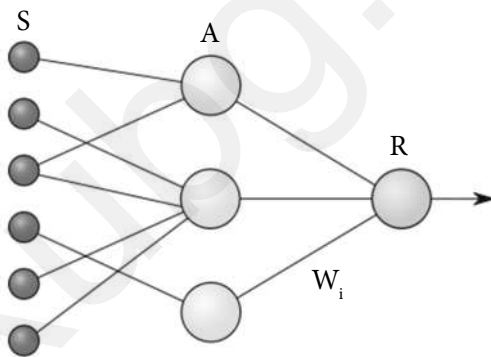


Рис. 2.7.2. Одношаровий перцептрон Розенблатта. Ваги зв'язків S — A можуть мати значення  $-1$ ,  $1$  або  $0$  (тобто відсутність зв'язку). Ваги зв'язків A — R  $W_i$  можуть мати довільне значення

го сигналу, пропускають результат через порогову функцію, вихід якої дорівнює  $+1$  чи  $0$ . R-елемент видає сигнал  $+1$ , якщо зважена сума його вхідних сигналів від попереднього шару є суворо додатною, і сигнал  $-1$ , якщо сума його вхідних сигналів є суворо від'ємною. Якщо сума вхідних сигналів дорівнює нулю, вихід вважається або рівним нулю, або невизначеним. Тоді у разі розв'язання задачі

класифікації залежно від значення вихідного сигналу приймається рішення:  $+1$  — вхідний сигнал належить класу А,  $-1$  — вхідний сигнал належить класу В.

Класифікація нейронних структур та їх модифікацій, що орієнтовані на розв'язання конкретного типу задач, — завдання непросте, оскільки їх є велика кількість. На нашу думку, досить повно та логічно здійснено класифікацію в [10] (рис. 2.7.3).

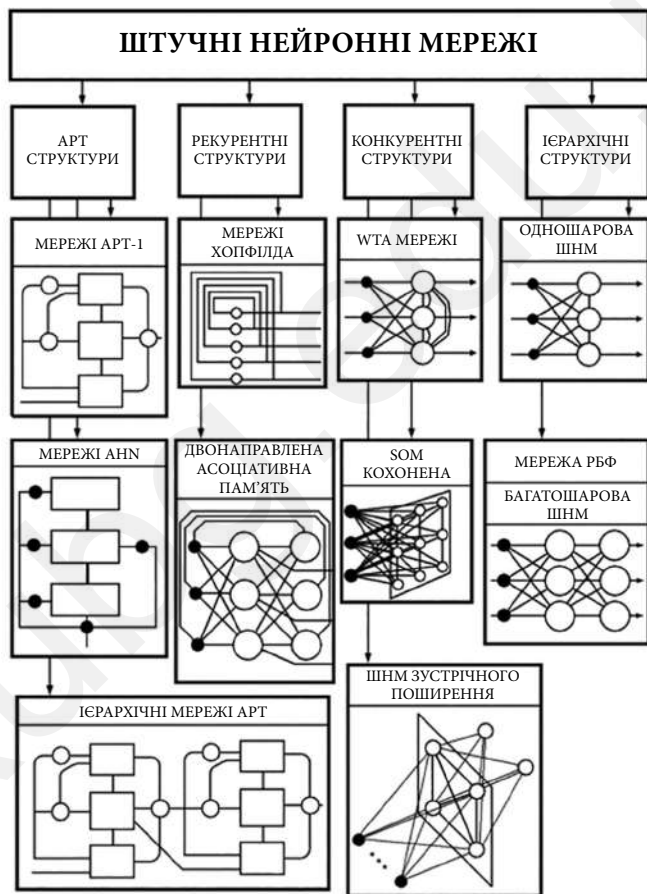


Рис. 2.7.3. Типи нейронних структур [10]

Оскільки в нашому дослідженні були використані одно- та багат шарові мережі прямого поширення, розглянемо їх детальніше.

Як було зазначено вище, перцептрон Розенблатта за сучасною термінологією зараховують до одношарових ШНМ прямого поширення (feed-forward), яка складається із  $m$  нейронів, здатних одночасно прийняти вхідний вектор сигналів  $X = (x_1, \dots, x_3, \dots, x_n)$ . Згідно з моделлю формального нейрона, кожен з його вхідних сигналів множать на ваговий коефіцієнт  $w_{ij}$ , де  $i$  — поточний номер елемента вектора  $X$ , а  $j$  — поточний номер нейрона (формула (1)).

Вагові коефіцієнти одношарової нейронної мережі утворюють матрицю вагових коефіцієнтів:

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1j} & \cdots & w_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{i1} & \cdots & w_{ij} & \cdots & w_{im} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \cdots & w_{nj} & \cdots & w_{nm} \end{pmatrix}.$$

Тоді вектор аргументів визначатиметься як добуток  $V = XW$ , а вектор вихідних сигналів є вектором значень активаційних функцій:

$$Y = F(V) = \begin{cases} f_1(v_1), \\ \dots \\ f_j(v_j), \\ \dots \\ f_m(v_m). \end{cases} \quad (2)$$

Спроби застосувати одношарові нейронні мережі для розв'язування деякого кола задач наштовхнулися на низку труднощів, пов'язаних з проблемою лінійної роздільності [11]. Природним вирішенням цієї проблеми стало застосування багат шарових ШНМ. Ієрархічна структура багат шарової мережі складається із  $m$  нейронів першого (прихованого) шару, які приймають вхідний вектор сигналів,  $n$  нейронів другого шару і т. д., аж до  $k$  нейронів останнього — вихідного шару. У таких нейронних мережах напрям поши-

рення сигналів «прямий»: сигнали рухаються, починаючи з входу, через один або декілька прихованих шарів до вихідного шару. Тобто синаптичні зв'язки організовані таким чином, що кожен нейрон цього рівня ієрархії отримує інформацію тільки від деякої множини нейронів, розміщених на більш низькому рівні.

Очевидно, що багатошарова нейронна мережа може бути отримана шляхом каскадного об'єднання одношарових мереж з матрицями вагових коефіцієнтів  $W^1, W^2, \dots, W^p$ , де  $p$  — кількість шарів нейронної мережі. При цьому при лінійній активаційній функції багатошарова мережа буде еквівалентна одношаровій з матрицею вагових коефіцієнтів  $W = W^1 \cdot W^2 \cdot \dots \cdot W^p$ , тому побудова таких мереж виправдана тільки у разі використання у нейронах нелінійних активаційних функцій.

**Навчання нейронної мережі прямого поширення.** Загальне визначення поняття «машинне навчання» дав Томас Мітчелл у класичній книзі «Машинне навчання» [12]: «Комп'ютерна програма навчається в міру накопичення досвіду щодо деякого класу задач  $T$  і цільової функції  $P$ , якщо якість розв'язання цих задач (щодо  $P$ ) поліпшується з отриманням нового досвіду». Тут важливі два моменти: 1) центральне місце при машинному навчанні займають не дані (хоча вони теж є), а цільова функція; 2) задачі розв'язуються з даних без того, аби бути програмованими явно. Тобто вже перед розв'язанням будь-якої практичної задачі необхідно визначити цільову функцію і домовитися про те, як оцінюватимуться результати. Вибір цільової функції цілком визначає всю дальшу роботу, і навіть у схожих завданнях різні цільові функції можуть привести до абсолютно різних моделей.

Навчання (тренування) нейронної мережі — це процес, при якому вільні параметри нейронної мережі адаптуються в результаті її безперервної стимуляції зовнішнім оточенням. Тип навчання визначається тим способом, яким виробляються зміни параметрів. Розрізняють два основні види навчання нейронної мережі — з учителем (supervised learning) та без учителя (self-organized learning), алгоритми якого базуються на принципі самоорганізації, де в ролі «вчителя» виступає зовнішнє середовище. Перше передбачає підлаштування вагових коефіцієнтів сигналів нейронів кожного шару так, що похибка у вихідних векторах цільової функції стає міні-

мальною. Алгоритми навчання зазвичай функціонують покровоко. Ці кроки прийнято називати епохами або циклами. На кожному циклі на вхід мережі послідовно подаються всі елементи тренувального набору даних (навчальна вибірка), потім обчислюється вихідні значення мережі, порівнюються з цільовими й обчислюється функціонал помилки. Значення функціоналу та його градієнта використовуються для коригування ваг і зміщень, після чого всі дії повторюються. Початкові значення ваг і зміщень вибираються випадковим чином, а процес навчання припиняється, коли виконано певну кількість циклів або коли помилка досягне деякого мінімального значення чи перестане зменшуватися.

При такому підході постає питання щодо адекватності розміру навчаючої вибірки. Виявляється, що для хорошого узагальнення досить, аби її розмір  $N$  задовольняв співвідношення  $N = O(W / \varepsilon)$ , де  $W$  — загальна кількість вільних параметрів (синаптичних ваг і порогових значень);  $\varepsilon$  — допустима точність похибки;  $O^*$  — порядок величини в дужках. Зазначений вираз отримано з емпіричного правила Відроу для алгоритму найменших квадратів [13].

*Задача апроксимації функції.* Оскільки під час дослідження ми використовували нейронні мережі саме для задач апроксимації функцій, далі розглядатимемо саме цю частину теорії нейронних мереж.

Нехай маємо нелінійне відображення типу «вхід» — «вихід»  $F: X \rightarrow Y$ , де вектор  $X$  — вхід, вектор  $Y = F(X)$  — вихід, а функція  $F$  — невідома. Щоб визначити цю функцію дано множину прикладів (навчальна вибірка):  $\Psi = \{(\bar{O}^{(i)}, y^{(i)})\}_{i=1}^N$ . Завдання нейронної мережі знайти найкраще сімейство функцій  $\Phi$  та вибрати найкращу функцію з параметром  $W$ , що входить до цього сімейства  $\phi_W(X^{(i)}) \subset \Phi$ .

Ця задача завжди є розв'язною, оскільки математично доведено, що ШНМ прямого поширення, у якій зв'язки не утворюють циклів, з одним прихованим шаром може апроксимувати будь-яку неперервну функцію багатьох змінних з будь-якою точністю (теорема Цибенко — універсальна теорема апроксимації) [14]. Умовами є достатня кількість нейронів прихованого шару, вдалих добір вагових коефіцієнтів між вхідними нейронами і нейронами прихованого шару та між зв'язками від нейронів прихованого шару й вихідним

нейроном, а також порогового елемента. З іншого боку, одну і ту ж функцію часто можна набагато краще наблизити глибшою мережею (з більшою кількістю прихованих шарів), навіть якщо загальну кількість нейронів у мережі залишити незмінною [15].

Критерієм вибору апроксимаційної функції є цільова функція  $E[\phi_W(X^{(i)}, y^{(i)})]$ , яка визначає «відстань» між результатом дії апроксимуючої функції  $\phi_W(X^{(i)})$  та заданим навчальною вибіркою вихідним елементом даних  $y^{(i)}$ . Таким чином нейронна мережа має навчитися розв'язувати завдання оптимізації: за заданою функцією знайти аргументи, в яких ця функція максимізується або мінімізується.

Найпростішим сімейством апроксимуючих функцій є лінійне сімейство, що задають виразом (член  $x_0 = 1$  введено для спрощення виразу) [10]:

$$\phi_W(X^{(i)}) = w_0 + \sum_{j=1}^m w_j x_j^{(i)} = \sum_{j=0}^m w_j x_j^{(i)} = W^T X^{(i)}. \quad (3)$$

Залежно від типу задач застосовують різні способи визначення цільової функції. Широко поширена середньоквадратична цільова функція, яку задають таким чином:

$$E = \sum_{i=1}^N [\phi_W(X^{(i)}) - y^{(i)}]^2. \quad (4)$$

Виходячи з виду функції (3), для пошуку мінімуму середньоквадратичної цільової функції  $E$  (4) можна застосовувати аналітичний метод лінійної регресії. Проте його практичне використання зумовлює значні обчислювальні труднощі. Подолати цю проблему можна за допомогою ітераційних підходів.

Розглянемо двошарову повнозв'язну нейронну мережу (рис. 2.7.4).

Нульовий шар цієї мережі — шар вхідних сигналів — не містить нейронів. Останній шар — вихідний (у цьому разі — із лінійною активаційною функцією нейронів). Всі шари, розміщені між нульовим та вихідним, є прихованими шарами з нелінійною активаційною функцією нейронів. Кожен нейрон мережі продукує зважену суму своїх входів, пропускає цю величину через активаційну функцію і видає вихідне значення. І як було зазначено, така мережа може

моделювати функцію практично будь-якої складності, причому число шарів і число нейронів у кожному шарі може бути змінено залежно від складності апроксимованої функції.

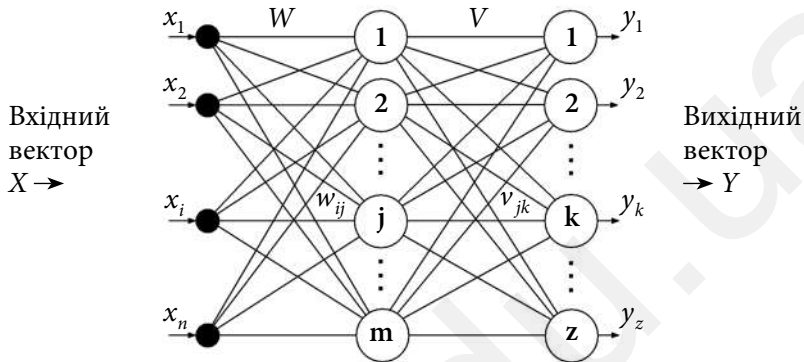


Рис. 2.7.4. Двошарова нейронна мережа прямого поширення

Робота такої мережі описується рівняннями:

$$\tilde{y} = \phi(s(x)), \quad s(x) = v_0 + \sum_{j=1}^m v_j h_j, \quad (5)$$

$$h_j = f(t_j) = f\left(w_{0j} + \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i\right).$$

Тут  $j, i$  — індекси елемента вхідного вектора та нейрона прихованого шару відповідно;  $x_i$  — елемент вхідного вектора;  $t_j$  — аргумент активаційної функції нейрона прихованого шару;  $h_j$  — елемент вихідного вектора прихованого шару;  $s$  — аргумент активаційної функції нейрона вихідного шару;  $\tilde{y}$  — вихідний вектор мережі;  $f(t)$  — активаційна функція нейронів прихованого шару;  $\phi(s)$  — активаційна функція нейронів вихідного шару.

Існує велика кількість алгоритмів мінімізації цільової функції. Нижче розглянемо ті, які ми використали в дослідженні.

*Метод зворотного поширення похибки.* Найбільш відомим, ефективним та легким у застосуванні при навчанні штучних нейронних мереж є алгоритм зворотного поширення похибки (Back Propagation) [16–17].



Нехай дано навчальну вибірку  $\Psi = \{(X^{(n)}, y^{(n)})\}_{n=1}^N$ , що містить  $N$  пар вхідних і вихідних векторів  $X^{(n)}, y^{(n)}$  та множину  $W = \{w, v\}$  параметрів нейронів прихованого шару  $w$  і параметрів вихідного шару  $v$ . Метод зворотного поширення похибки полягає в мінімізації цільової функції

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N [y^{(n)} - \tilde{y}^{(n)}(x)]^2 \quad (6)$$

шляхом двох проходів обчислень. При прямому проході синаптичні ваги залишаються незмінними в усій мережі, а функціональні сигнали обчислюються послідовно від шару до шару. На виході отримуємо вектор  $\tilde{y}$  (5) і обчислюємо цільову функцію (6). Зворотний прохід передбачає поширення сигналів помилки від виходів мережі до її входів, модифікуючи ваги кожного шару на відповідний крок:

$$\Delta v_j = -\eta \frac{\partial E}{\partial v_j} = \frac{\eta}{N} \sum_{n=1}^N (y^{(n)} - \tilde{y}^{(n)}) \phi'(s^{(n)}) h_j,$$

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\eta}{N} \sum_{n=1}^N (y^{(n)} - \tilde{y}^{(n)}) \phi'(s^{(n)}) v_j f'(t_j^{(n)}) x_i^{(n)},$$

де  $0 < \eta < 1$  — множник, який задає швидкість навчання. Для обчислення чергового кроку параметра  $\Delta W$  за цим алгоритмом необхідно виконати обробку всієї навчальної вибірки  $\Psi$ . Ознакою закінчення процесу навчання може бути досягнення умови  $\partial E / \partial W \leq \varepsilon$  або мінімальна зміна цільової функції на такі ітерації  $\left| \frac{E(t+1) - E(t)}{E(t)} \right| < \varepsilon$ , де  $\varepsilon > 0$  — значення порога точності.

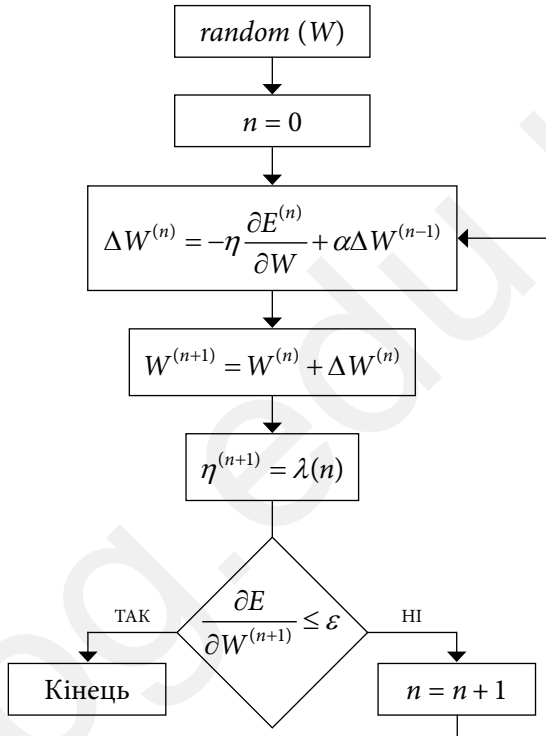
Алгоритм реального часу дозволяє модифікацію кроку параметра після обробки кожної навчальної пари  $(X^{(n)}, y^{(n)})$ , що забезпечує можливість кращої адаптації алгоритму до зміни вхідної вибірки. Величина кроку параметра  $\Delta W$  модифікується в реальному часі за формулою:

$$\Delta W^{(n)} = -\eta \frac{\partial E^{(n)}}{\partial W} + \alpha \Delta W^{(n-1)},$$

де  $0 < \alpha < 1$  — коефіцієнт впливу попередньої ітерації;  $\lambda(n) = \eta^{(n+1)}$  — функція динамічного формування коефіцієнта навчання  $\eta$ .

При ретельному доборі функції  $\lambda(n)$  алгоритм реального часу дає змогу підвищити швидкість збіжності методу зворотного поширення.

Приклад блок-схеми алгоритму реального часу для методу зворотного поширення наведено на *рис. 2.7.5*.



*Рис. 2.7.5.* Алгоритм реального часу для методу зворотного поширення [10]

Слід зазначити, що у разі навчання мережі методом зворотного поширення помилки функції активації мають бути монотонно зростаючими і диференційовними.

При реалізації алгоритму можна змінювати не всі ваги мережі, а деякі з них залишати фіксованими. Цього можна досягти, встановивши для відповідних ваг параметр інтенсивності навчання  $\eta$  рівний нулю.

Незважаючи на успіх застосування методу зворотного поширення в різних задачах, трапляються випадки, коли процес навчання триває нескінченно довго. Причинами цього є [18]:

1) параліч мережі — у процесі навчання мережі значення ваг можуть стати дуже великими величинами. Це може призвести до того, що всі або більшість нейронів будуть функціонувати при дуже великих значеннях ОУТ у ділянці, де похідна стискаючої функції дуже мала. Оскільки помилка, що посиляється назад під час навчання, пропорційна цій похідній, то процес навчання може практично завершити. Для запобігання цьому можна зменшити розмір кроку  $\eta$ , але це значно сповільнює час навчання;

2) локальні мінімуми — зворотне поширення використовує різновид градієнтного спуску, тобто здійснює спуск вниз поверхнею помилки, безперервно підлаштовуючи ваги в напрямку до мінімуму. Поверхня помилки складної мережі дуже неоднорідна в просторі високої розмірності. Мережа може потрапити в локальний мінімум (неглибоку долину), не досягнувши глобального мінімуму. У точці локального мінімуму всі напрямки ведуть вгору, і мережа нездатна з нього вибратися.

*Алгоритм Левенберга — Марквардта.* Алгоритм Левенберга — Марквардта (Levenberg — Marquardt algorithm (LMA)) — метод оптимізації параметрів нелінійних регресійних моделей у задачах апроксимації кривої [19–20]. Як критерій оптимізації використовується середньоквадратична похибка моделі в навчальній вибірці. Алгоритм полягає в послідовному наближенні заданих початкових значень параметрів до шуканого локального оптимуму.

Нехай задана регресійна вибірка множина пар  $D = \{(x_n, y_n)\}_{n=1}^N$  вільної змінної  $x$  та залежної змінної  $y$ . Задана регресійна модель — функція  $f(w, x_n)$ , диференційована в ділянці  $W \times X$ . Потрібно знайти таке значення вектора параметрів  $w$ , яке б доставляло локальний мінімум функції похибки:

$$E_D = \sum_{n=1}^N (y_n - f(w, x_n))^2. \quad (7)$$

Перед початком алгоритму задається початковий вектор параметрів  $w$ , який на кожній ітерації замінюється на вектор  $w + \Delta w$ .

Для оцінки приросту  $\Delta w$  використовується лінійне наближення функції:

$$f(w + \Delta w, x) - f(w, x) \approx J \Delta w,$$

де  $J$  — якобіан функції  $f(w, x_n)$  у точці  $w$ . Матриця  $J$  має вигляд:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(w, x_1)}{\partial w_1} & \dots & \frac{\partial f(w, x_1)}{\partial w_R} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f(w, x_N)}{\partial w_1} & \dots & \frac{\partial f(w, x_N)}{\partial w_R} \end{bmatrix}.$$

Тут вектор параметрів  $w = [w_1, \dots, w_R]^T$ .

Приріст  $\Delta w$  у точці  $w$ , при якому функція  $E_D$  досягатиме мінімуму, рівний нулю. Тому для пошуку наступного значення приросту дальшим кроком  $\Delta w$  прирівнюємо до нуля вектор частинних похідних функції  $E_D$  за  $w$ . Для цього формулу (7) подаємо у вигляді  $E_D = |y - f(w + \Delta w)|^2$ , де  $y = [y_1, \dots, y_N]^T$  і  $f(w + \Delta w) = [f(w + \Delta w, x_1), \dots, f(w + \Delta w, x_N)]^T$ .

Тоді дістанемо:

$$\begin{aligned} E_D &= |y - f(w + \Delta w)|^2 = (y - f(w + \Delta w))^T (y - f(w + \Delta w)) = \\ &= f^T(w + \Delta w) f(w + \Delta w) - 2y^T f(w + \Delta w) + y^T y \end{aligned}$$

і, диференціюючи за  $w$ , отримаємо:

$$\frac{\partial E_D}{\partial w} = (J^T J) \Delta w - J^T (y - f(w)) = 0.$$

Тоді, щоб знайти вектор  $\Delta w$ , потрібно розв'язати систему лінійних рівнянь:

$$\Delta w = J^T (y - f(w)) / (J^T J).$$

Оскільки матриця  $J^T J$  може бути суттєво виродженою, Марквард [20] запропонував ввести параметр регуляризації  $\lambda \geq 0$  (призначається на кожній ітерації алгоритму):  $\Delta w = J^T (y - f(w)) / (J^T J + \lambda I)$ , де  $I$  — одинична матриця.

Алгоритм зупиняється в тому разі, якщо приріст  $\Delta w$  у наступній ітерації менше заданого значення або якщо параметри  $w$  доставляють похибку функції  $E_D$ , меншу заданої величини. Значення вектора  $w$  на останній ітерації вважається шуканим.

Недоліком алгоритму є значне збільшення параметра  $\lambda$  при поганій швидкості апроксимації. При цьому перетворення матриці  $J^T J + \lambda I$  втрачає зміст. Цей недолік можна усунути, замінивши одиничну матрицю  $I$  діагоналлю матриці  $J^T J$ :

$$\Delta w = J^T (y - f(w)) / (J^T J + \lambda \text{diag}(J^T J)).$$

*Алгоритм спряжених градієнтів.* Алгоритм зворотного поширення помилки коригує настроювані параметри мережі в напрямку найшвидшого зменшення функціоналу помилки. Проте останній далеко не завжди є найсприятливішим напрямком, таким, щоб за мале число кроків забезпечити збігання до мінімуму функціоналу. Існують напрямки, рухаючись за якими, можна визначити шуканий мінімум набагато швидше. Зокрема, це можуть бути так звані спряжені напрямки, а відповідний метод оптимізації — метод спряжених градієнтів (conjugate gradient) [21]. Це метод знаходження локального екстремуму функції на основі інформації про її актуальне значення та інформації, отриманої на попередніх кроках (градієнт).

Розглянемо задачу оптимізації квадратичної функції:

$$f(X) = \frac{1}{2} X^T A X - B^T X + c, \quad (8)$$

де  $X, B$  — вектори розмірністю  $W \times 1$ ;  $A$  — симетрична матриця розмірністю  $W \times W$ ;  $c$  — скаляр. Мінімум цієї функції досягається при єдиному значенні  $X^* = A^{-1}B$ . Тобто мінімізація функції  $e$  і розв'язок системи лінійних рівнянь  $A X^* = B$  є еквівалентними задачами.

Для цієї матриці  $A$  множина ненульових векторів  $S = \{S^{(0)}, S^{(1)}, \dots, S^{(n)}\}$  називається  $A$ -спряженою ( $A$ -conjugate), якщо для всіх  $i \neq j$  виконується відношення  $S^{(i)T} A S^{(j)} = 0$ . Якщо матриця  $A$  — одинична, то спряженість є еквівалентом ортогональності.

Для пошуку локального мінімуму як матриці  $A$  застосовується матриця Гессе:

$$H(f) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}.$$

Тоді спряженими векторами будуть вектори, що задовольняють умову:  $S^{(i)T}HS^{(j)} = 0$  ( $i \neq j$ ),  $S^{(i)T}HS^{(i)} \geq 0$  для  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Алгоритм спряжених градієнтів на першій ітерації починає пошук у напрямі антиградієнта квадратичної функції:

$$\begin{aligned} s_k^{(i)} &= -f'(x_k^{(i)}) + \beta_{k-1}s_{k-1}^{(i)}, \quad k \geq 1 \\ s_0^{(i)} &= -f'(x_0^{(i)}). \end{aligned}$$

Величини  $\beta_{k-1}$  — вибираються так, щоб напрямки  $s_k^{(i)}$  і  $s_{k-1}^{(i)}$  були  $H$ -спряженими.

У результаті для квадратичної функції (8) ітераційний процес мінімізації має вигляд:  $x_{k+1}^{(i)} = x_k^{(i)} + a_k s_k^{(i)}$ , де  $a_k$  — величина кроку;  $s_k^{(i)}$  — напрямок «спуску».

Однією з найбільш істотних проблем у методах сполучених градієнтів є проблема ефективного побудови напрямків, тобто найоптимальнішого обчислення константи  $\beta_{k-1}$ . Існує багато алгоритмів, які по-різному вирішують цю проблему. У нашому разі був застосований масштабований алгоритм спряжених градієнтів (scaled conjugate gradient algorithm) [22].

### Оптимізація параметрів та навчання нейронної мережі для аналізу даних атомно-силової спектроскопії

Як приклад застосування ШНМ для аналізу даних атомно-силової спектроскопії наведемо наші дослідження серій силових кривих при визначенні локального модуля пружності клітин крові людини.

Типова схема вимірювань в атомно-силовій спектроскопії взаємодій зонд — поверхня подано на *рис. 2.7.6*.

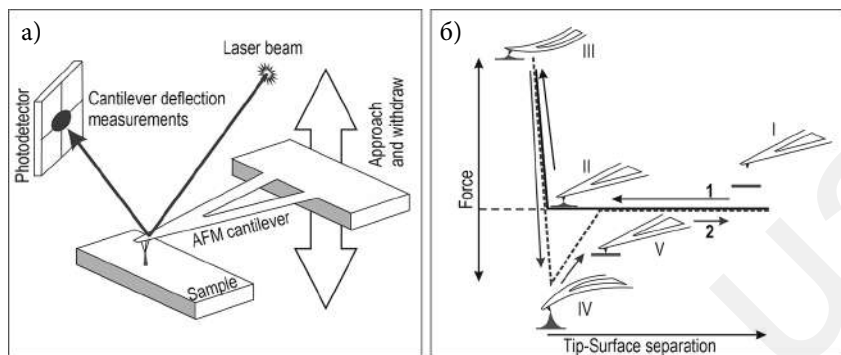


Рис. 2.7.6. Схема вимірювань в атомно-силовій спектроскопії (а) і схематичний вигляд силової кривої при вимірюваннях на повітрі (б): крива підведення (1), крива відведення нановістря від поверхні (2) [23]

У положенні I зонд розміщений далеко від поверхні й взаємодія між ними відсутня. У положенні II зонд наближається до поверхні так близько (рух по кривій позначається стрілкою), що переходить у контакт з поверхнею за рахунок дії Ван-дер-Ваальсових сил притягання. У положенні III зонд досягає заданого максимуму сили притискання до поверхні, після чого починається стадія відведення IV. Загалом ділянки III та IV силової кривої не збігаються через наявність гістерезису привнесеного за рахунок дії адгезійних сил. У положенні IV сила пружної деформації вигнутого кантилевера (консоли, на якій розміщене нановістря) перевищує силу адгезії і зонд стрибкоподібно відривається від поверхні. У положенні V кантилевер зонда АСМ повертається в стан рівноваги. Таким чином результатом вимірювань є серії силових кривих, аналіз яких і буде завданням нейромережі.

Для конструювання, навчання та тестування нейронної мережі ми вибрали середовище Matlab [24]. Це потужний пакет, який включає велике число макросів (так званих *m*-функцій) і дає можливість значно пришвидшити розробку прикладних програм різного рівня складності. Для роботи з нейронними мережами в Matlab передбачено кілька рівнів. Найпростіші мережі з використанням алгоритмів навчання Левенберга — Марквардта, Байєсової регуляризації та спряжених градієнтів можна дуже швидко конструювати,

застосовуючи майстер побудови мереж. Більш складні мережі пропонується формувати, використовуючи графічну оболонку блочно-го конструювання. І найбільш гнучкий та функціональний підхід відкриває можливість написання власного програмного коду за допомогою набору відповідних макрокоманд. У дослідженні ми використали майстер побудови спрощених одношарових мереж та власний програмний код. При потребі останній може бути оформлений у вигляді окремого додатка (програми) для запуску на операційних системах Windows або Linux. Так само відпрацьовані алгоритми можуть бути перенесені на інші програмні платформи для створення комерційного продукту ІТ-компаніями.

Першим етапом у створенні нейронної мережі є вибір її архітектури та методу навчання. З огляду на поставлені завдання нам потрібно побудувати класифікаційну або апроксимуючу мережу. Оскільки загалом залежність сили від навантаження не є складною функцією, то можна вибрати оптимальний набір вхідних метрик, який би забезпечив не тільки класифікацію кривих силової спектроскопії, але й дав можливість прогнозувати конкретні значення жорсткості контакту зонд — поверхня. Тому на першому етапі ми побудували одношарову апроксимуючу нейронну мережу. Для відпрацювання алгоритмів навчання тестова вибірка включала тисячу модельних кривих залежності сили навантаження від глибини проникнення зонду в поверхню при різних значеннях модуля Юнга поверхні, отриманих на серійній моделі сканувального зондового мікроскопа класу Dimension / Icon фірми “Bruker”. З метою уніфікації вхідних даних всі криві містили по 256 точок. При індентуванні задається максимальна сила навантаження, через те діапазон зміни сили на всіх кривих є однаковим, а глибина проникнення зонду в поверхню змінюється. Тому значення глибини містять більше унікальної інформації про криву і їх варто використовувати насамперед. Додатковим параметром для характеристикації кривої ми вибрали площу під кривою. Як вихідний параметр було взято відповідні значення модуля Юнга. Таким чином, мережа містила 257 вхідних нейронів та один прихований шар. (Схема мережі наведена на *рис. 2.7.7*, набір вхідних кривих — на *рис. 2.7.8*.)

Результати тестування простої апроксимаційної мережі, навченої за різними алгоритмами, наведено на *рис. 2.7.9–2.7.11*. Чотири вікна



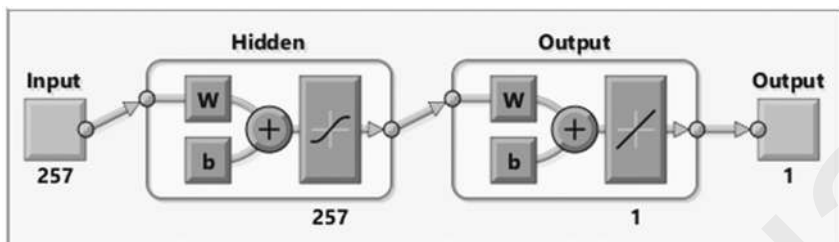


Рис. 2.7.7. Схема апроксимуючої нейронної мережі з великою кількістю вхідних нейронів

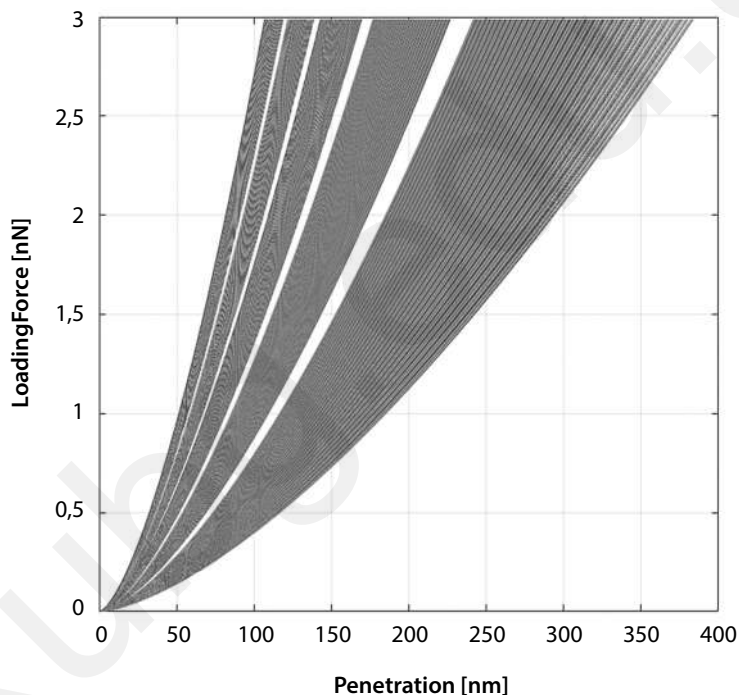


Рис. 2.7.8. набір модельних силових кривих, що використовувався при тестуванні нейронної мережі

кожного рисунка відображають ступінь збігу результату передбачення, виданого мережею, із заданими значеннями в навчальному наборі та двох наборах вхідних даних, що не брали участі у навчанні — масив

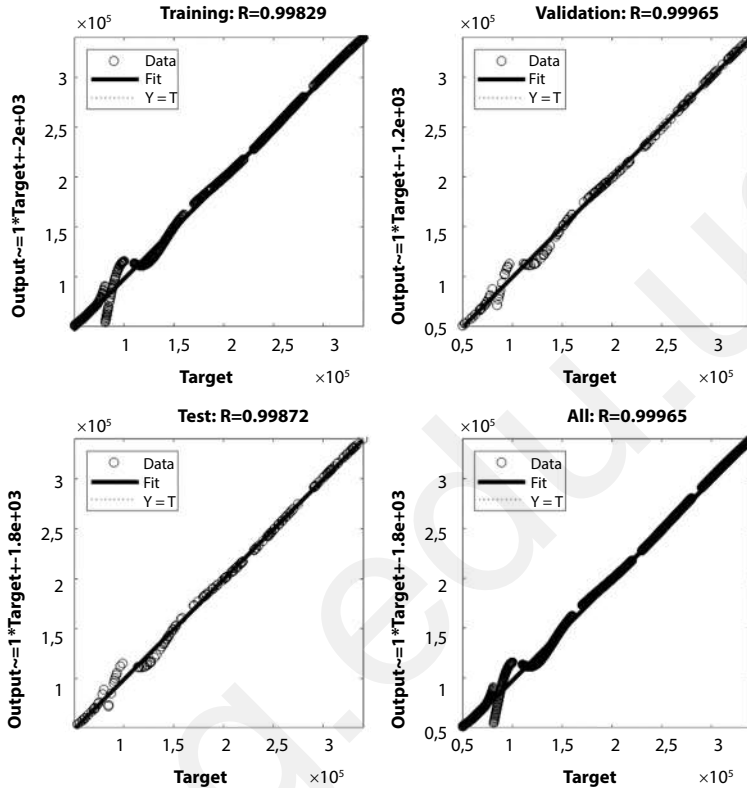


Рис. 2.7.9. Графіки регресій, що ілюструють результати апроксимації навчального та перевірочних наборів нейронною мережею, навченою за алгоритмом Байєсової регуляризації.

На правому нижньому графіку представлений узагальнений результат

даних для перевірки в ході навчання та тестовий набір для перевірки після завершення процесу навчання. Дані представлені у вигляді регресії, де ідеальний результат, що повністю збігається з цілями навчання, розміщується вздовж діагональної прямої лінії. Для наших завдань доброю вважається підгонка із коефіцієнтом регресії R не меншим за 9,99.

Як видно з графіків на рис. 2.7.9–2.7.11, найкращого результату досягла мережа, навчена за алгоритмом спряжених градієнтів. Практично всі прогнозовані значення зосереджені на прямій цілей. У представленні

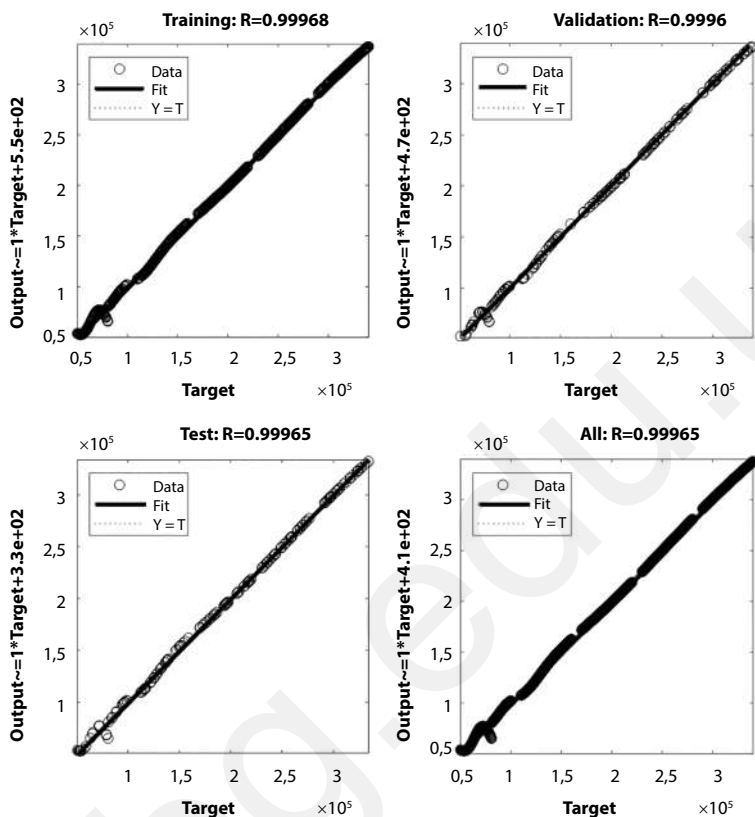


Рис. 2.7.10. Графіки регресій, що ілюструють результати апроксимації навчального та перевірного наборів нейронної мережі, навченою за алгоритмом Левенберга — Марквардта

значень відносної похибки прогнозного та реального значень дані відображені на рис. 2.7.12. Видно, що найбільша похибка зосереджена в ділянці малих значень модуля Юнга. Це пов'язано з відносно малою кількістю даних для навчання в цьому діапазоні значень глибини проникнення зонду в поверхню. Крок зміни модуля Юнга в розрахункових кривих рис. 2.7.8 вибрано постійним для всіх груп кривих. Таким чином група кривих із найбільшим модулем Юнга покриває діапазон значень глибини від 0 до 100 нм, у той час як така ж кількість кривих

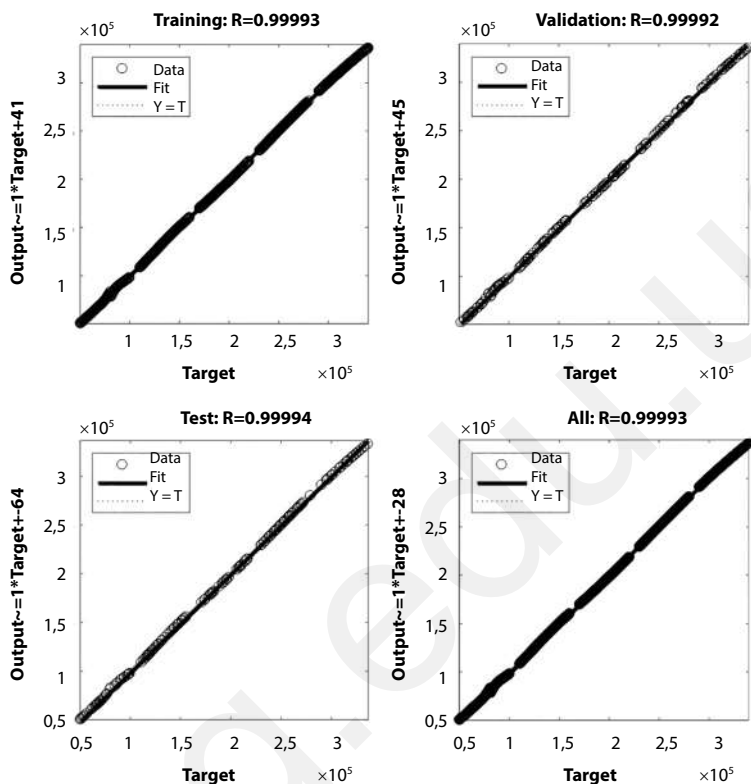


Рис. 2.7.11. Графіки регресії, що ілюструють результати апроксимації навчального та перевірочних наборів нейронною мережею, навченою за алгоритмом спряжених градієнтів

із найменшим модулем Юнга — діапазон значень глибини від 0 до 380 нм. Наведений приклад ілюструє важливість правильного добору і структурування даних для навчання нейронної мережі.

При роботі із масивом експериментальних кривих важливою є їх підготовка. Окрім згаданих вище калібрувань та вилучення складової кантилевера потрібно перенести початок системи координат в точку контакту зонду з поверхнею та коректно видалити апаратні шуми. Однак, не дивлячись на прискіпливу підготовку експериментальних

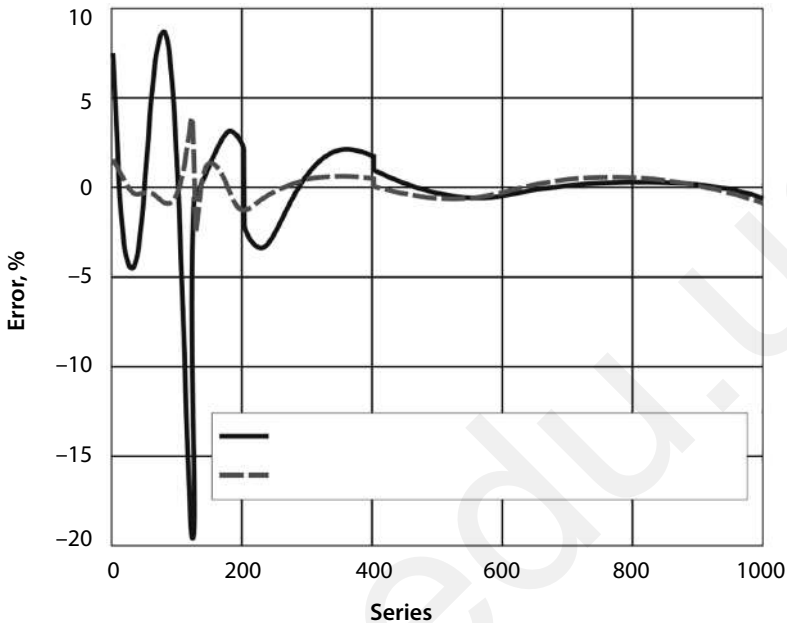


Рис. 2.7.12. Порівняння відносної похибки прогнозування значення модуля Юнга нейронними мережами, навченими за алгоритмами Левенберга — Марквардта та спряжених градієнтів

даних для використання нейронною мережею, результат виявився незадовільним (рис. 2.7.13). Мілка нейронна мережа не досягає поставлених цілей. Загальний коефіцієнт регресії є меншим за 0,92.

У цій ситуації звичним рішенням є конструювання складнішої багатошарової мережі з оптимальними активаційними функціями в шарах, краще структурування та збільшення числа даних для навчання.

На цьому етапі досліджень для коректної обробки експериментальних даних ми запрограмували власну нейронну мережу прямої передачі з двома прихованими шарами та логічною сигмоїдальною функцією активації. Число входних нейронів було зменшене до 4, що відповідало опису лінійної частини кривих навантаження та площі під ними. Найбільш оптимальним алгоритмом навчання виявився алгоритм Левенберга — Марквардта. Сумарний графік регресії нашої мережі наведено на рис. 2.7.14.

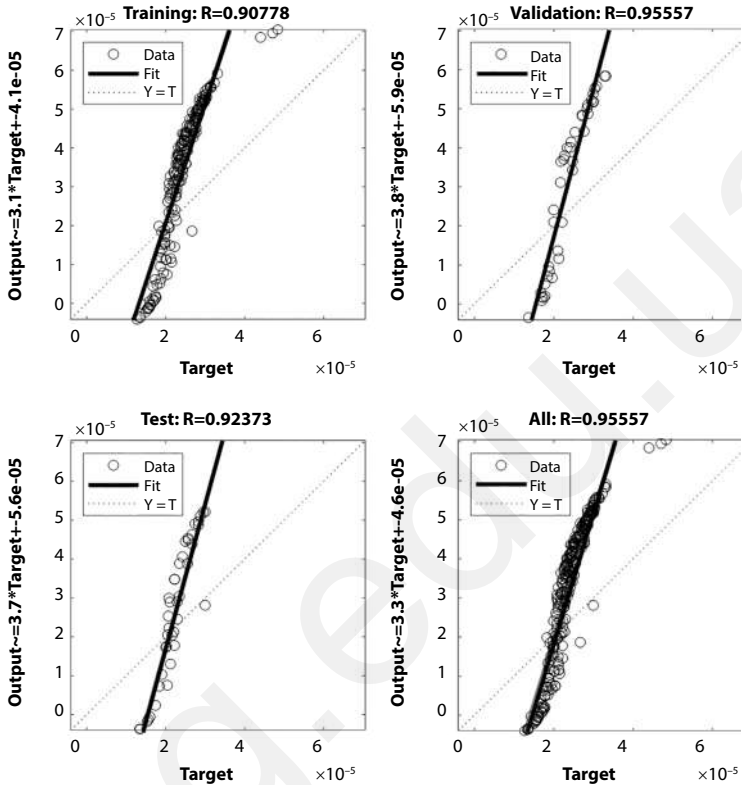


Рис. 2.7.13. Графіки регресій, що ілюструють результати апроксимації навчального та перевірочних наборів нейронною мережею, навченою за алгоритмом спряжених градієнтів на масиві експериментальних кривих

Коefіцієнт регресії є цілком прийнятним, а відносна похибка прогнозування менша за 2 % (рис. 2.7.15). Виключення складають елементи із великими значеннями модуля Юнга. Як видно з графіка на рис. 2.7.16, таких значень не багато і тому їх вага в мережі мінімальна.

Збільшення кількості кривих із такими високими значеннями модуля Юнга в навчальній вибірці легко підвищить точність прогнозу (рис. 2.7.17).

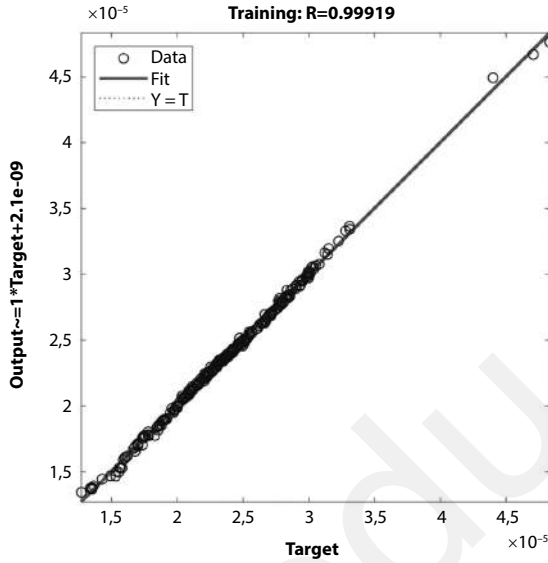


Рис. 2.7.14. Графік регресії запрограмованої нейронної мережі прямої передачі

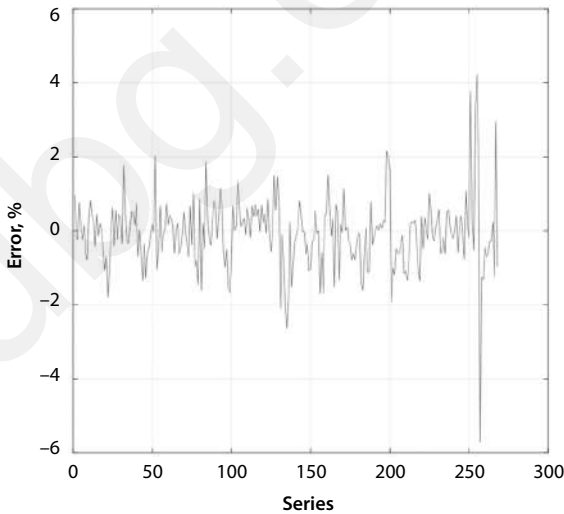


Рис. 2.7.15. Відносна похибка запрограмованої нейронної мережі прямої передачі в межах навчального масиву даних розміром  $272 \times 4$

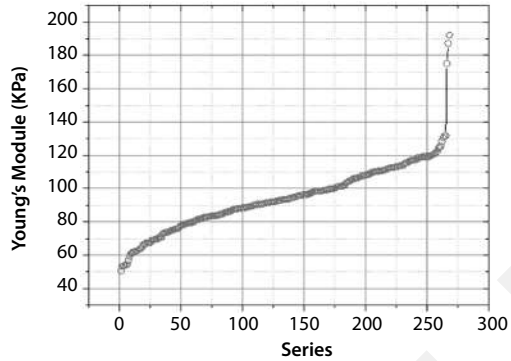


Рис. 2.7.16. Прогнозовані (лінія) та визначені за допомогою моделювання (точки) значення модуля Юнга

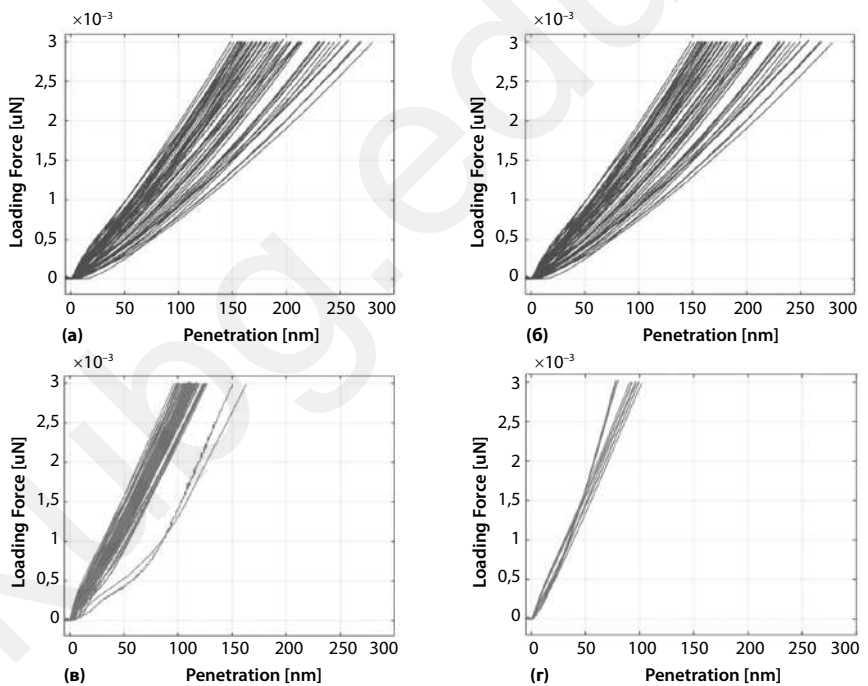


Рис. 2.7.17. Приклад класифікації експериментальних силових кривих нейронною мережею: (а) — масив експериментальних кривих; (б)—(г) — класифіковані криві відповідно до заданих значень модуля Юнга



Подяка. Дослідження, результати якого викладені в статті, частково проведено в рамках наукового проекту «Розроблення комплексу нанометрики фізичних параметрів напівпровідникових та гібридних наносистем на основі електросилових та струмочутливих методів скануючої зондової мікроскопії», виконаного відповідно до Цільової програми наукових досліджень НАН України «Напівпровідникові матеріали, технології і датчики для технічних систем діагностики, контролю та управління», 2018–2020 рр.

### ДЖЕРЕЛА

1. Ященко В. Искусственный интеллект. Теория. Моделирование. Применение. К: Логос, 2013. 294 с.
2. Sacha G.M., Varona P. Artificial intelligence in nanotechnology. *Nanotechnology*. 2013. V. 24, no. 45. P. 452002.
3. Falk D. How Artificial Intelligence Is Changing Science. *Quantamagazine*. URL: <https://www.quantamagazine.org/how-artificial-intelligence-is-changing-science-20190311/>
4. Graupe D. Principles of Artificial Neural Networks. Advanced Series in Circuits and Systems. 3<sup>rd</sup> edition. 2013. Vol. 7. 294 p.
5. Minelli E. et al. A fully-automated neural network analysis of AFM force-distance curves for cancer tissue diagnosis. *Applied Physics Letters*. 2017. Vol. 111, no. 14. P. 143701.
6. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*. 1943. Vol. 5, no. 4. P. 115–133.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е издание. Москва — Санкт-Петербург — Киев: Издательский дом Вильямс, 2016. 1104 с.
8. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*. 1958. Vol. 65, no. 6. P. 386–408.
9. Rosenblatt F. Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Spartan books, 1962. 616 p.
10. Новотарський М., Нестеренко Б. Штучні нейронні мережі: обчислення. *Праці Інституту математики НАН України*. К.: Ін-т математики НАН України, 2004. Т. 50. 408 с.
11. Minsky M., Papert S.A. Perceptrons: An introduction to computational geometry. Expanded Edition. MIT press, 1987. 308 p.

12. Mitchell T.M. Machine learning. Burr Ridge, IL: McGraw Hill, 1997. P. 870–877.
13. Widrow B., Sterns S.D. Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1985. 247 p.
14. Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems (MCSS)*. 1992. Vol. 5, no. 4. P. 455–455.
15. Montúfar G.F., Pascanu R., Cho K.H., Bengio Y. On the number of linear regions of deep neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems 27: Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, 2014. P. 2924–2932.
16. Галушкин А.И. Синтез многослойных систем распознавания образов. Москва: Энергия, 1974. 368 с.
17. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning internal representations by error propagation. Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition, vol. 1: foundations. California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science, 1986. P. 318–362.
18. Яхьева Г.Э. Основы теории нейронных сетей. Москва: Национальный открытый ун-т «Интуит», 2016. 200 с.
19. Levenberg K. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of applied mathematics*. 1944. Vol. 2, no. 2. P. 164–168.
20. Marquardt D.W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*. 1963. Vol. 11, no. 2. P. 431–441.
21. Hagan M.T., Demuth H.B. Neural networks for control. *Proceedings of the American Control Conference*. 1999. Vol. 3. P. 1642–1656.
22. Møller M.F. A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. *Neural networks*. 1993. Vol. 6, no. 4. P. 525–533.
23. Lytvyn P.M. Scanning Probe Microscopy in Practical Diagnostic. 3D Topography Imaging and Nanometrology. Springer, 2014. P. 179–219.
24. Marvin L. Neural networks with MATLAB. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. 231 p.

# ВИСНОВКИ

## РОЗДІЛ 1. ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Актуалізація підвищення ефективності та якості освітнього процесу стимулює активні дослідження в напрямі застосування цифрових технологій при підготовці фахівців у вищій школі.

1. Установлено, що моделювання прикладних задач у поєднанні з математичними та базовими дисциплінами сприяє поліпшенню фундаментальної підготовки фахівців, яка значною мірою визначає кваліфікаційний рівень спеціаліста, що є конкретним проявом інтеграційних процесів, що відіграють важливу роль у підвищенні практичної підготовки студентів. Здатність до математичного і комп'ютерного моделювання має велике значення для формування системності знань студентів, розкриття механізмів відповідних об'єктів явищ і процесів, у тому числі й тих, що ми не можемо продемонструвати в реальних умовах. Визначено, що математичне моделювання при максимальному використанні його потенціалу дає можливість виявити та вирішити професійні проблеми різного характеру: чітко визначати мету дослідження та швидко знаходити можливі варіанти її досягнення; розробити відповідні моделі економічних об'єктів чи явищ і на їх основі створити ефективні алгоритми та програми оптимальних шляхів розв'язання актуальних завдань.

2. STEAM-освіта є актуальним освітнім трендом у світі та Україні, реалізація якого спрямована на подолання викликів сьогодення і підтримується на державному рівні. Результати проведеного анкетування свідчать про те, що більшість опитаних вчителів та майбутніх вчителів ознайомена або частково ознайомена з поняттям «STEM-освіта» і розуміє необхідність її запровадження в середній школі. Застосування технології дослідницько-пізнавального навчання (IBL) на STEAM-предметах на базі інноваційного класу з використанням віртуальних лабораторій та інших цифрових ресурсів для підтримки дослідницького навчання сприятиме формуванню в учнів навичок дослідницької діяльності, навичок XXI ст., підвищенню мотивації до навчання.

3. Обґрунтовано доцільність зміни освітньої парадигми відповідно до вимог Індустрії 4.0. Для цього проаналізовані цифрові тренди розвитку економіки та визначені шляхи цифрової трансформації економіки й суспільства. Об'єктивною необхідністю є розробка та впровадження в Україні моделі інноваційної освітньої екосистеми. Розкрито складові інноваційної освітньої екосистеми та механізми взаємодії суб'єктів освітньої екосистеми, основою якої можуть стати освітньо-виробничі кластери як універсальна модель колаборації складних нелінійних систем. Описана роль університетів у моделі колаборації як моделі потрійної спіралі, яка перетворює університет на інноваційний підприємницький хаб. Реалізація моделі інноваційної освітньої екосистеми показана на прикладі інноваційної екосистеми “Sikorsky Challenge”.

4. Установлено, що електронне навчання крім очевидних переваг (технологічність, можливість індивідуалізації, відсутність географічних бар'єрів, забезпечення соціальної рівності, необмеженість кількості слухачів тощо) має й певні недоліки. Однак природа останніх лежить не стільки у площині самих можливостей, скільки в умінні їх ефективно використати. Результати опитування, з одного боку, засвідчили готовність студентів використовувати ЕНК, а з іншого — низьку оцінку їх корисності й не зовсім позитивне загальне емоційне сприйняття. Це дає підстави дійти висновку про невисоку якість електронних навчальних курсів, а отже, й неефективність тих ЕНК, які не забезпечують інтерактивне навчання та не створюють у студентів позитивної внутрішньої мотивації, тобто не виправдовують філософію освітнього середовища Moodle — педагогіку соціального конструктивізму (активне, дослідницько-орієнтоване навчання у партнерській взаємодії).

5. Описано можливості використання хмаро орієнтованих сервісів під час організації освітньої діяльності студентів. Сервіси можна поділити на три групи: для візуалізації навчального матеріалу та результатів самостійної роботи; для організації колективної взаємодії й кооперативного навчання; для контролю та аналізу успішності студентів. Обґрунтовано доцільність використання програм “Maple”, “Mathematica”, “Maxima”, GSP, “GeoGebra”, “Gran”, DG та ін. у контексті потужності інструментарію, кола завдань, вільного поширення, оновлення тощо. Доведено ефективність застосовуваного методу генерування великої кількості завдань у багатьох навчальних курсах з математики. Метод поєднання можливостей програми “Excel” та редактора TeX, за допомогою яких можна автоматично створювати тексти вправ, відформа-

товані згідно з правилами побудови документів у редакторі TeX, дає змогу розв'язати кілька важливих методичних завдань, а саме: автоматизувати процес створення тренувальних вправ для здобуття студентами відповідних навичок розв'язування задач; суттєво спростувати процес розв'язування та перевірки викладачем отриманих від студентів розв'язків. Розглянуто особливості застосування MS Excel на прикладі задачі залежності рівня зайнятості населення України від впливу вибраних факторів. Схарактеризовано різні етапи побудови та дослідження економетричної моделі: ідентифікація змінних, специфікація моделі, параметризація та перевірка на статистичну значущість отриманих результатів.

6. Аналіз освітнянської практики в умовах соціального дистанціювання дає змогу стверджувати, що змішане навчання є найбільш оптимальним форматом реалізації сучасного освітнього процесу (про це висловилося 52,8 % викладачів і 45,0 % студентів). Викладачам більше притаманний консервативний дух — вони підтримують традиційний формат, при якому аудиторне навчання перевищує дистанційне. Для студентів більш зручною є перевага дистанційного навчання над аудиторним. Як викладачі, так і студенти вважають, що суто дистанційне навчання не є ефективним. На думку викладачів, навчання варто реалізовувати тільки в аудиторії. Здійснення виключно аудиторного навчання підтримує кожен десятий студент.

## **РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ І ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

Досліджено широкий спектр актуальних питань соціології, електроніки, комп'ютерної техніки та автоматизації наукових досліджень, успішний розв'язок яких практично неможливий без використання аналітичних методів, комп'ютерного моделювання та інформаційних технологій.

1. Розглянуто оптимізаційну задачу математичної теорії керування (мінімізація ризиків, досягнення потрібного результату за найкоротший час, економія енергоресурсів тощо), у якій еволюційний процес описується лінійними диференціальними рівняннями, а функція керування задається невласним інтегралом. У заданій постановці задачі визначено умови, за яких функціонал мінімізується, знайдено відповідні

оптимізаційні керування, наведено ілюстративний приклад. Запропоновано метод знаходження оптимальних розв'язків і відповідного керування в нестационарному випадку. Тобто, коли коефіцієнти у правій частині рівняння залежать від часу.

2. На основі здійсненого аналізу ринку праці встановлено якісні взаємозв'язки структурних зрушень економік макро- та мезорівнів і зайнятості населення, проведено відбір основних факторів впливу на динаміку зайнятості. Побудовано економетричну модель множинної регресії для дослідження залежності рівня зайнятості населення Дніпропетровського, Харківського, Київського та Вінницького регіонів від наявності вищої освіти у зайнятого населення, темпів зростання продуктивності праці та середньої заробітної плати, індексу капітальних інвестицій, величини коефіцієнта покриття експортом імпорту. Здійснено дисперсійно-кореляційний аналіз побудованих моделей, зокрема оцінено загальний вплив факторних змінних на результативну змінну та статистичну значущість знайдених оцінок. Подано економічну інтерпретацію отриманих результатів та проведено порівняльну характеристику динаміки зайнятості населення на регіональному рівні й в Україні загалом.

3. Визначено, що вкрай актуальним завданням при проектуванні сучасної електронної апаратури є зниження генерованих електромагнітних завод для підвищення рівня її електромагнітної сумісності. У результаті дослідження запропоновано, апаратно-програмно втілено та апробовано технічну реалізацію одночасного використання двох шляхів підвищення електромагнітної сумісності засобів візуального виводу інформації в динамічному режимі для вбудованих та спеціалізованих цифрових систем. Отримане звуження спектра ненавмисних радіозавод та одночасне зменшення амплітуди генерованих індикатором паразитних сигналів досягнуто завдяки використанню розроблених двотактних інформаційних моделей шкального відображення даних на шкалі з матричним з'єднанням елементів. Як технічну платформу для апробації використано СК на основі ефективного та дешевого мікроконтролера родини MCS-51. Розроблено, застосовано та апробовано програмне забезпечення для керування 100-елементним шкальним індикатором на основі двовимірної світлодіодної матриці 10 x 10. Показано, що така реалізація індикаторної підсистеми забезпечує зниження рівня генерованих радіозавод порівняно з типовими пристроями виводу даних у динамічному режимі шляхом сканування матриці шкали по одній з координат більше ніж у 10 разів. У результаті суттєво підвищу-

ється рівень електромагнітної сумісності засобів індикації, що вкрай важливо при створенні та експлуатації пристроїв та систем для мобільних і рухомих об'єктів. Отримані результати є цікавими та корисними при створенні вбудованих систем різного призначення. Найбільші техніко-економічні переваги запропонованого підходу до реалізації засобів індикації проявляються в розробках з обмеженим простором для розміщення апаратури системи.

4. У результаті порівняння ефективності використання типу Array і Set мови JavaScript з точки зору швидкого доступу до даних установлено: для колекцій розміром до сотень тисяч елементів час обробки масивів Array і множин Set має однаковий порядок. Для вибору структури важливішою є зручність застосування і методи, які дає кожна з них; для колекцій понад 1 000 000 елементів краще використовувати множину, але якщо масив упорядкований, то в цьому разі бінарний пошук дає той же порядок часу доступу. При цьому заповнення та видалення елементів з масиву відбувається швидше, ніж заповнення та видалення елементів з множини. Слід також зазначити, що пошук здійснювався для найгіршого випадку — шуканий елемент був відсутній у колекції. У разі кращої умови — елемент на першій позиції — час пошуку практично збігався для всіх трьох випадків.

5. Показано, що ринок IoT характеризується швидким розвитком і, як наслідок, незрілістю, яка проявляється в швидкій появі (а іноді й зникненні) нових гравців. При цьому створюється безліч стандартів та моделей. Але єдиних стандартів не запроваджується — кожна компанія створює свій власний стандарт, що стримує розвиток IoT. І наразі консолідації цих стандартів в один загальний не передбачається. Крос-платформенність поки відсутня, що підвищує ризики впровадження великомасштабних рішень. Невід'ємною частиною мережі IoT крім комп'ютерних є технології промислового IoT, хмарні й туманні обчислення великих даних з використанням штучного інтелекту AIoT, застосування вебтехнологій WoT, технології розподілених баз даних залежно від потрібної оперативності та глибини аналізу. Швидкий розвиток хмарних обчислень значно збільшує якість IoT: прискорення відгуку, облік місцевих умов, підвищення захисту, розподілене зберігання даних, знижує завантаження інтернету та хмарних серверів. Спостерігається тенденція до зростання глибини аналізу даних серверами. Збільшується сфера використання мікропроцесорних вбудованих систем керування. Технологія розвивається в бік створення Distributed Stream Computing Platforms (DSCP) у вигляді множини розподілених

обчислювальних вузлів для обробки подій і збереження даних як специфічних типів Big Data. Цьому сприяє зростання потужності мікропроцесорів. Засоби нижнього рівня об'єкта керування (локальні й корпоративні мережі) налаштовані на відповідні об'єкти керування, завжди оригінальні й постійно оновлюються. Розробляються нові нетрадиційні методи й засоби функціонування цього рівня. Виникає новий тип баз даних з розподіленими даними.

6. Дослідження функціонування каналу "YouTube" засвідчило, що його політика спрямована на те, аби зробити суспільство більш обізнаним і сильнішим, щоб користувачі могли вільно висловлювати свої думки та ідеї, навіть якщо хтось не погоджується з ними. Потреби людини в особистому розвитку стають більш різноманітними. Політика YouTube сприяє поширенню і популяризації світової культурно-історичної спадщини, розвитку інтересу до освіти й науки загалом, самовираженню та самоідентифікації особистості, захищає авторські права й підтримує некомерційні організації. Через спільноту YouTube формує комунікаційне середовище, що надає додаткові можливості для розширення тематики музейного контенту, популяризації та просування історико-культурної спадщини суспільства.

7. Розроблено та апробовано метод аналізу даних атомно-силової спектроскопії (серій силових кривих при визначенні локального модуля пружності клітин крові людини) із використанням рекурсивних штучних нейронних мереж. Конструювання, навчання та тестування нейронної мережі здійснювалось в середовищі Matlab.



# АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

<b>Вадим Абрамов</b> .....	254
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0002-8026-1475 v.abramov@kubg.edu.ua	
<b>Марія Астаф'єва</b> .....	28, 194
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0002-2198-4614 m.astafieva@kubg.edu.ua	
<b>Марія Бойко</b> .....	7
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0003-0293-5670 m.boiko@kubg.edu.ua	
<b>Дмитро Бодненко</b> .....	75
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0001-9303-6587 d.bodnenko@kubg.edu.ua	
<b>Олександр Бушма</b> .....	223
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0003-1604-6129 o.bushma@kubg.edu.ua	
<b>Вікторія Вембер</b> .....	7
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0002-4483-8505 v.vember@kubg.edu.ua	
<b>Оксана Глушак</b> .....	131, 210
Київський університет імені Бориса Грінченка ORCID iD 0000-0001-9849-1140 o.hlushak@kubg.edu.ua	

- Олексій Жильцов** ..... 28  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-7253-5990  
o.zhyltsov@kubg.edu.ua
- Людмила Ільч** ..... 210  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-8594-1824  
l.ilich@kubg.edu.ua
- Наталія Кобець** ..... 171  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0003-4266-9741  
o.kobets@kubg.edu.ua
- Тетяна Ковалюк** ..... 171  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ORCID iD 0000-0002-1383-1589  
tetyana.kovalyuk@gmail.com
- Галина Кучаковська** ..... 75  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-4555-896X  
h.kuchakovska@kubg.edu.ua
- Оксана Литвин** ..... 28, 294  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-5118-1003  
o.lytvyn@kubg.edu.ua
- Петро Литвин** ..... 294  
Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова  
НАН України  
ORCID iD 0000-0002-0131-9860  
plyt@isp.kiev.ua
- Ірина Машкіна** ..... 115, 280  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0003-0667-5749  
i.mashkina@kubg.edu.ua
- Наталія Морзе** ..... 7  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0003-3477-9254  
n.morze@kubg.edu.ua

- Тетяна Носенко** ..... 115, 280  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-7597-9861  
t.nosenko@kubg.edu.ua
- Володимир Прошкін** ..... 28, 48  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-9785-0612  
v.proshkin@kubg.edu.ua
- Сергій Радченко** ..... 92  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-6930-5801  
s.radchenko@kubg.edu.ua
- Милана Сабліна** ..... 75  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0001-9452-1867  
m.sablina@kubg.edu.ua
- Олена Семеніхіна** ..... 48  
Сумський державний педагогічний університет  
імені А.С. Макаренка  
ORCID iD 0000-0002-3896-8151  
e.semenikhina@fizmatsspu.sumy.ua
- Світлана Семеняка** ..... 131, 210  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0001-5083-1433  
s.semeniaka@kubg.edu.ua
- Галина Скоробрещук** ..... 149  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-1037-8379  
h.skorobreshchuk@kubg.edu.ua
- Людмила Хоружа** ..... 48  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0003-4405-4847  
l.khoruzha@kubg.edu.ua
- Владислав Яскевич** ..... 246  
Київський університет імені Бориса Грінченка  
ORCID iD 0000-0002-5796-2521  
v.yaskevych@kubg.edu.ua

*Наукове видання*

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ  
ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТІ Й НАУЦІ

Монографія

НМЦ видавничої діяльності  
Київського університету імені Бориса Грінченка

Завідувач НМЦ видавничої діяльності *М.М. Прядко*

Відповідальна за випуск *А.М. Даниленко*

Над випуском працювали  
*Л.В. Потравка, В.І. Скрябіна, Т.В. Нестерова*

Підписано до друку 11.10.2021 р. Формат 60x84/16.  
Ум. друк. арк. 20,35. Зам. № 1-57.

Київський університет імені Бориса Грінченка,  
вул. Бульварно-Кудрявська, 18/2, м. Київ, 04053  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 4013 від 17.03.2011 р.

*Попередження!* Згідно із Законом України «Про авторське право і суміжні права» жодна частина цього видання не може бути використана чи відтворена на будь-яких носіях, розміщена в мережі «Інтернет» без письмового дозволу Київського університету імені Бориса Грінченка й авторів. Порушення закону призводить до адміністративної, кримінальної відповідальності.